

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2020

Pavel Fukala

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

**Návrh řízení systému chlazení
betonářské oceli**

**Control System Design of Reinforcing
Steel Cooling System**

2020

Pavel Fukala

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student:

Pavel Fukala

Studijní program:

B0714A150001 Řídicí a informační systémy

Téma:

Návrh řízení systému chlazení betonářské oceli
Control System Design of Reinforcing Steel Cooling System

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je analýza a návrh technologie pro řízení průtoku chladicí vody okolo hutních provalků. V současné době je systém řešen manuálním ovládáním a provalky přestávají odpovídat požadované úrovni kvality. Realizaci je nutno provádět v souladu s možnostmi, které poskytuje reálný provoz. Cílem je tedy vytvořit demonstrátor řízení, aplikovatelný pro případnou budoucí rekonstrukci dochlazovací technologie.

V souhrnu je práce charakterizována následujícími body:

1. Analýza provozu dochlazovací technologie.
2. Zhotovení technologické dokumentace stávajícího řešení.
3. Návrh nového řídicího systému dochlazovací technologie.
4. Návrh vizualizace HMI pro dochlazovací technologii.
5. Realizace a test řídicí technologie v demonstračním režimu.
6. Zhodnocení výsledků řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

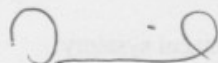
- [1] PETRUZELLA, Frank. *Programmable Logic Controllers*. 5th edition. New York: McGraw-Hill, 2017. ISBN 978-0-07-337384-3.
- [2] MCGUIRE, Patrick M. *Conveyors: Application, Selection, and Integration (Systems Innovation Book Series)*. Boca Raton: CRC Press, 2009. ISBN-13: 978-1439803882.
- [3] KRUTZ, Ronald L. *Industrial Automation and Control Systems Security Principles*. International Society of Automation, 2016. ISBN 978-1941546826.
- [4] MEHTA, B. R. a Y. Jaganmohan REDDY. *Industrial process automation systems: design and implementation*. Amsterdam: Elsevier, 2015. ISBN 978-0-12-801098-3.
- [5] ŠMEJKAL, Ladislav. *PLC a automatizace. 2. díl, Sekvenční logické systémy a základy fuzzy logiky*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-087-3.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Slanina, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020



doc. Ing. Jiří Kozíorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne: 15.5.2020

.....
Fll

Podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce **Ing. Zdeňkovi Slaninovi, Ph.D.** za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem řízení systému chlazení betonářské oceli a vytvořením vizualizace k této technologii na Středojemné válcovně v Liberty Ostrava a.s.

Obsahem této práce je analýza současného řešení chlazení a vytvoření programu v PLC pro řízení tohoto systému. Protože v době, kdy byla tato práce vytvářena, nebylo možné aplikovat řešení do provozu válcovny, je testování a ladění provedeno v demonstračním režimu. Řídicí algoritmus je tedy vytvořen v aplikaci TIA Portal od firmy Siemens a vizualizace je vytvořena v aplikaci InTouch od firmy Wonderware.

Klíčová slova

Středojemná válcovna, betonářská ocel, pyrometr, PLC, vizualizace, OPC, ProCop, InTouch, KEPServerEX

Abstract

This bachelor thesis deals with the control system design of reinforcing steel cooling system and creating visualization for this technology in the medium and fine section mill in Liberty Ostrava a.s.

The content of this work is an analysis of the current solution of cooling and creation of the PLC program to control this system. Because at the time this work was being created, it was not possible to apply the solution to the operation of the rolling mill, testing and debugging is performed in demonstration mode. The control algorithm is therefore created in the TIA Portal application from Siemens and the visualization is created in the InTouch application from Wonderware.

Key words

The medium and fine section mill, reinforcing steel, pyrometer, PLC, visualization OPC, ProCop, InTouch, KEPServerEX

Obsah

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Úvod..... | 5 |
| 2 | Analýza chladicího zařízení Středojemné válcovny | 6 |
| 2.1 | Popis válcovací tratě..... | 6 |
| 2.2 | Chladicí zařízení..... | 7 |
| 2.3 | Historie a popis chladicího zařízení Golem | 8 |
| 2.4 | Podmínky řešení..... | 11 |
| 2.5 | Sběr a zpracování dat..... | 13 |
| 3 | Programovatelné automaty | 14 |
| 3.1 | Program v PLC..... | 14 |
| 3.2 | Programovací jazyky | 14 |
| 4 | Uživatelská rozhraní a vizualizace..... | 16 |
| 4.1 | Komunikace mezi PLC a vizualizací..... | 16 |
| 4.2 | Software ProCop | 17 |
| 5 | Návrh nového řídicího systému | 20 |
| 5.1 | Vytvoření programu v TIA Portalu | 22 |
| 5.2 | Návrh vizualizace | 25 |
| 5.3 | Propojení vizualizace s programem a ladění..... | 28 |
| 6 | Určení optimálních poloh ventilů | 30 |
| 7 | Závěr | 36 |

Seznam použitých symbolů a zkratek

| | |
|---------|---|
| CPU | centrální procesorová jednotka (Central Processing unit) |
| DDE | dynamická výměna dat (Dynamic Data Exchange) |
| HMI | rozhraní člověk-stroj (Human Machine Interface) |
| PLC | programovatelný automat (Programmable Logic Controller) |
| RAM | paměť s náhodným přístupem (Random Access Memory) |
| SCADA | supervizní řízení a sběr dat (Supervisory Control And Data Acquisition) |
| SJV | Středojemná válcovna |
| WYSIWYG | What You See Is What You Get – způsob editace dokumentů |

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1 – Schéma tratě SJV..... | 5 |
| Obrázek 2 – Schéma Golemu za 3. pořadím a 4. pořadím..... | 8 |
| Obrázek 3 – Umístění pyrometru v 1. pořadí..... | 11 |
| Obrázek 4 – Modulární PLC Simatic S7 1500 od firmy Siemens..... | 13 |
| Obrázek 5 – Zápis jednoduché úlohy s logickými operacemi AND a OR v instruction list a ladder diagramu..... | 14 |
| Obrázek 6 – Schéma architektury OPC..... | 16 |
| Obrázek 7 – Ukázka technologického displeje z ProCop 2..... | 17 |
| Obrázek 8 – WebTrends zobrazující průběhy teplot z 1. pořadí na Středojemné válcovně..... | 18 |
| Obrázek 9 – Princip navrženého řídicího systému..... | 19 |
| Obrázek 10 – Blokové schéma vstupů a výstupů PLC..... | 20 |
| Obrázek 11 – Schéma připojení vybraného pyrometru k měřicímu přístroji..... | 21 |
| Obrázek 12 – Hardwarová konfigurace PLC v TIA Portalu..... | 21 |
| Obrázek 13 – Vnitřní schéma modulu pro dvouvodičové měření proudu..... | 22 |
| Obrázek 14 – Sestavení astabilního klopného obvodu..... | 23 |
| Obrázek 15 – Obrazovka vizualizace ze 3. pořadí..... | 24 |
| Obrázek 16 – Obrazovka s teplotními průběhy..... | 25 |
| Obrázek 17 – Nastavení pro čtení a zápis z aplikace Excel pomocí DDE protokolu..... | 26 |
| Obrázek 18 – Nastavení KEPServeru..... | 27 |
| Obrázek 19 – Nastavení adresy v TIA Portalu..... | 28 |
| Obrázek 20 – Kolísání teplot sochorů B25..... | 29 |
| Obrázek 21 – Detail kolísání teplot v čase pro první sochor..... | 30 |

Seznam Tabulek

| | |
|--|----|
| Tabulka 1 – Porovnání adres PLC-KepServer-InTouch..... | 27 |
| Tabulka 2 – První nastavení (N1)..... | 31 |
| Tabulka 3 – Naměřené hodnoty prvního nastavení..... | 32 |
| Tabulka 4 – Druhé nastavení (N2)..... | 33 |
| Tabulka 5 – Třetí nastavení (N3)..... | 33 |
| Tabulka 6 – Výsledky druhého a třetího nastavení..... | 33 |
| Tabulka 7 – Vhodná nastavení pro jednotlivé teploty..... | 34 |

1 Úvod

Na Středojemné válcovně se kromě klasických ocelových tyčí vyrábí také betonářská ocel. Tato ocel musí dosahovat určitých mechanických vlastností, především mez pevnosti v tahu a mez kluzu, které jsou definovány příslušnými normami. Tyto vlastnosti jsou ovlivněny chemickým složením oceli a ochlazením vodou na určitou teplotu. Toto je nutné, aby se na tyčích vytvořila speciální povrchová vrstva.

Protože se při výstavbě válcovny s výrobou betonářské oceli vůbec nepočítalo, byl systém chlazení dodán později s tím, že betonářská ocel bude pouze druhořadým výrobkem. Protože poptávka po těchto tyčích neustále roste a normy jsou stále přísnější na jejich výsledné mechanické vlastnosti, přistoupila společnost Liberty Ostrava a.s. k rekonstrukci chladicího zařízení. Plánovaná rekonstrukce však neřeší automatizaci celého procesu.

V současnosti je chlazení řešeno ručním otevíráním či zavíráním proporcionálních ventilů. Po rekonstrukci budou dodány ventily, které lze ovládat přímo z kabiny, čímž se vyloučí zbytečné zastavování tratě, než jeden z operátorů pokrouť ventily. Stále však zůstává problém s reagováním na teplotu tyčí po ohřevu. Každá tyč má jiný teplotní profil a je obtížné na tuto skutečnost reagovat manuálním řízením. Proto byl podán návrh i na automatizaci celého procesu. Současná situace v Liberty Ostrava a.s. však neumožňuje příliš velké změny v řešení chlazení a také není možné zde cokoli testovat, dokud nebude provedena plánovaná rekonstrukce celého chladicího zařízení, proto je nutné řídicí systém přizpůsobit současným možnostem a vyzkoušet jej pouze v demonstračním režimu.

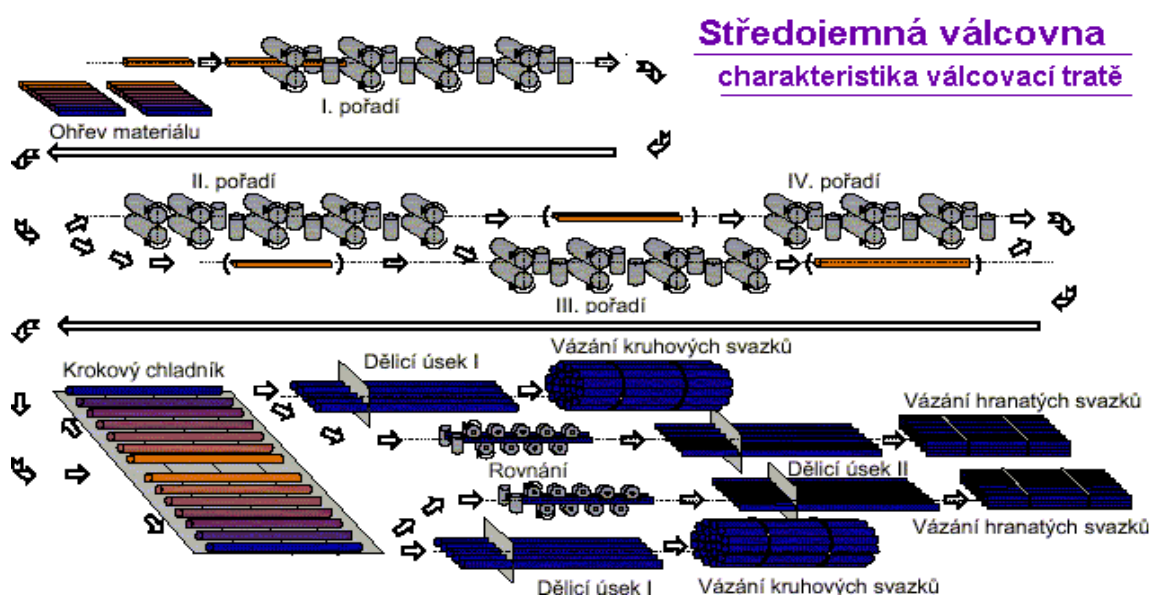
2 Analýza chladicího zařízení Středojemné válcovny

Středojemná válcovna (SJV) se nachází v jižní části komplexu v Ostravě-Kunčicích. V tomto komplexu jsou celkem 4 válcovny, kromě SJV jsou to: Válcovací trať HCC, Kontidráťová trať a Pásová trať P1500. Hlavními produkty SJV jsou dlouhé ocelové tyče válcované za tepla. [1]

Sochor je ze sázecího roštu nejprve poslán na váhu, která slouží pro výpočet výsledné délky profilu, aby systém připravil rozpočet délky kusů na chladníku. Po zvážení jde sochor do jedné z pecí a následně přes ostřík okují. Z pecního úseku jde materiál na válcovací trať. Po válcování jsou tyče jednotlivě ukládány na chladník. Odtud jsou odebírány na stříhání na nůžky na požadované délky. Nakonec jsou tyče ukládány do svazků.

2.1 Popis válcovací tratě

Válcovací trať SJV se skládá ze 4 samostatných válcovacích pořadí, které lze různě spojovat. Každé z těchto pořadí obsahuje různý počet stolic s různým uspořádáním válců. Mezi jednotlivými stolicemi daného pořadí je provalek veden pomocí žlabů a mezi jednotlivými pořadími je provalek přesouván pomocí válečkových dopravníků – viz obr. 1.



Obr. 1: Schéma tratě SJV

Toto dvoužilové uspořádání umožňuje širokou variabilitu využití jednotlivých pořadí, rovněž tak zkrácení doby přestaveb a prostojů při přechodech mezi jednotlivými profily.

Obecně se dá říci, že 1. pořadí slouží vždy pouze k přetváření předvalku, kdy je pomocí úběrů na jednotlivých stolicích dosaženo takového průměru, aby z něj bylo možno v dalším, tzv. hotovném pořadí vyrobit finální výrobek. Pokud má tento výrobek vyšší metrovou hmotnost, je jako hotovný využíváno již 2. pořadí a zbylá dvě jsou nahrazena pouze válečkovým odváděcím dopravníkem. V případě výrobku s nižší metrovou hmotností je ještě i 2. pořadí využíváno jako přetvářecí a jako hotovný pak fungují 3. a 4. pořadí. U určitého sortimentu je pak možno zcela vypustit 2. pořadí a válcovat přímo do 3. pořadí. Celou tuto variabilitu umožňují i výhybky za 1. a 2. pořadím.

Nastavení tratě se řídí pomocí kalibračního předpisu, ve které jsou přesně stanoveny vstupní rozměry sochorů, druhy válců v jednotlivých stolicích, stejně tak úběry, rychlosti a tvary provalku.

2.2 Chladicí zařízení

Jak již bylo uvedeno výše, mohou být jako hotovní využity pořadí č. 2, 3 a 4. Za každým z těchto pořadí je proto umístěna speciální chladicí jednotka pro chlazení vodou.

V těchto chladicích zařízeních je prováděno prudkým zchlazením zakalení povrchové vrstvy betonářské oceli tak, aby tato vrstva zajišťovala potřebnou pevnost, zároveň však musí být zachována i minimální tažnost, kterou zajišťuje vnitřní nezakalené jádro.

Za 2. pořadím je to chladicí jednotka Tempcore, skládající se ze tří zásuvných vozíků, umožňující chladit materiál průměrů 35 až 75 mm. Jednotlivé vozíky délky 8 metrů jsou do tratě zasouvány podle válcovaného průměru a jejich počet logicky závisí na tloušťce materiálu – pro průměry 55 mm a výše je využívána celá délka chladicího zařízení, tedy 24 metrů. Toto zařízení bylo do tratě instalováno před několika lety, kdy byla na SJV zahájena výroba závitových tyčí, a plně vyhovuje požadavkům na kontrolu a regulaci průtoků. Zařízení je vybaveno servoventily s on-line zobrazovanými doválcovacími teplotami a průtoky vody, takže je možno přímo z řídicí kabiny provádět úpravu průtoků jednotlivými ventily.

Za 3. a 4. pořadím se nachází chladicí jednotky Golem, skládající se ze tří, resp. dvou sekcí chladicích trubek různých průměrů, osazených ručně otevíranými pákovými nebo kulovými ventily. U těchto zařízení není plynulá regulace průtoků možná a jakákoli změna musí být prováděna pouze při zastavení tratě na ventilech přímo u tohoto zařízení. Na tomto zařízení jsou chlazeny průměry 10 až 32 mm.

V Golemu se dochlazuje pouze betonářská ocel, ostatní materiál se tady nechladí. Betonářská ocel je vzhledem ke svému použití výrobkem nejvyšší kvality a musí splňovat předepsané parametry normy. Proto je nutno při válcování a řízeném ochlazování této oceli přísně dodržovat technologické parametry, kterými jsou například mez pevnosti v tahu nebo mez kluzu. [1]

2.3 Historie a popis chladicího zařízení Golem

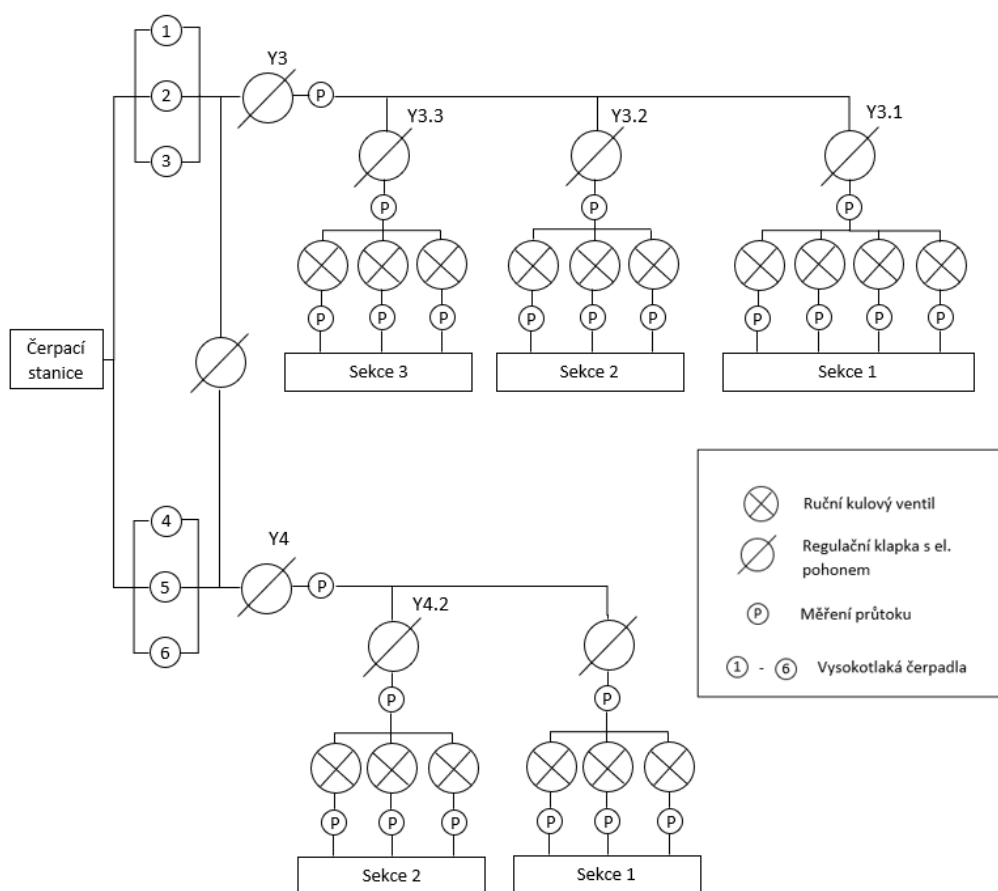
V době výstavby SJV nebylo počítáno s výrobou sortimentu chlazených betonářských ocelí. Prioritou byla výroba profilových, kruhových a plochých tyčí, sortiment betonářských ocelí měl být pouze okrajovou součástí portfolia s tím, že veškerých mechanických vlastností mělo být dosahováno pomocí chemického složení ocelí.

Jak se však záhy ukázalo, začala poptávka po betonářské oceli nejen v rámci tuzemska, ale i v rámci exportu, vysoce převyšovat původně odhadované objemy prodeje tohoto sortimentu. Proto byla hledána cesta, jak co nejvíce snížit vstupní náklady na výrobu. Jako významné se projevilo zejména snížení množství legur v oceli a dosažení požadovaných vlastností pomocí chlazení a následného popouštění vyráběných tyčí.

Proto začalo být na SJV vyvíjeno chladicí zařízení, které by tuto technologii umožňovalo. Vývoj probíhal formou pokus – omyl tak, že po provedení každé zkoušky byly vyhodnoceny pomocí metalografické analýzy výsledky a následně na Golemu provedeny úpravy. Postupem doby byly vyrobeny za 3. a 4. pořadím soustavy chlazení tak, aby vyhovovaly výrobě v té době normami předepsaným jakostem.

V současnosti jsou tedy Golemy za 3. pořadím tvořeny třemi sekcemi trubek o různých průměrech a délkách, do kterých je pod tlakem vháněna chladicí voda a kterými je zároveň veden materiál za hotovní stolicí. Tak lze v jednom průměru trubek chladit tyče 10 a 12 mm, v dalším 14-20 mm a v posledním 22-32 mm. Na konci Golema je pyrometr, který on-line zaznamenává dochlazovací teplotu, která je pro danou jakost a průměr předepsána za účelem zajištění požadovaných mechanických vlastností. *Viz obr. 4.*

Analogická je situace i za 4. pořadím s tím rozdílem, že zde již bylo možno nainstalovat z důvodu prostorového řešení tratě pouze dvě sekce, a tak na tomto pořadí lze vyrábět chlazené průměry pouze do 20 mm *viz obr. 4.*



Obr. 2: Schéma Golemu za 3. pořadím a 4. pořadím

Ve své době toto řešení plně vyhovovalo výrobě betonářské oceli o vlastnostech, které předepisovala tuzemská norma ČSN pro dnes již nepoužívanou jakost 10 425 (mez kluzu R_e min. 425 MPa) a norma DIN 488 pro jakost, odpovídající dle ČSN označení 10 505, dle dnešních EN norem označovanou jako B500S (mez kluzu R_e min. 500 MPa). Časem k těmto jakostem přibyla ještě B550S dle Önorm s mezí kluzu 550 MPa, ale zde se již dostáváme na hranici kapacity současné konstrukce Golemu. Všechny tyto normy přitom nestanoví minimální hodnoty pevnosti R_m , pouze stanoví rozsah poměru R_e/R_m , resp. R_m/R_e , což umožňuje jistou variabilitu obou těchto hodnot.

Jak již však bylo uvedeno dříve, byla na SJV před několika lety zahájena výroba závitových tyčí, která zde byla převedena v rámci skupiny tehdy ArcelorMittal z lucemburského Rodange. V rámci tohoto portfolia jsou vyráběny i tyče jakostí St550/620 a St670/800, kde jsou již přímo předepsány minimální hodnoty jak pro mez kluzu R_e 550, resp. 670 MPa, tak minimální hodnoty pro pevnost R_m 620, resp. 800 MPa. V plánu je rovněž zavedení výroby kotevních tyčí jakosti St900/1100 MPa. Tyto hodnoty jsou v možnostech stávající konstrukce chladicího zařízení pouze v rámci dodatečného legování taveb, což je v současné době konkurenční nevýhodou. Další skupinou výrobků, připravovaných do výroby, jsou betonářské oceli s vyšší tažností. [1]

To vše vyústilo v nutnost spolupráce s odborníky, kteří již mají s podobnými zařízeními zkušenosti a dokážou modelovat chování proudící kapaliny ve styku se žhavým povrchem materiálu tak, aby byli schopni navrhnout v rámci technických požadavků na uvedené výrobky design nového chladicího zařízení. Byla navázána spolupráce s VUT Brno, které by mělo na základě dodaných parametrů navrhnout novou konstrukci chladicího zařízení tak, aby bylo možno s požadovanou provozní jistotou vyrábět definované portfolio výrobků.

Současně s tím bylo přikročeno k rekonstrukci vodního hospodářství SJV, konkrétně výměně tlakových čerpadel. Dále je v plánu instalace filtračního zařízení, která zamezí tomu, aby byly jednotlivé trysky ucpávány cizími tělesy. Součástí dodávky nového chladicího zařízení pak samozřejmě budou i dálkově ovládané servoventily s on-line ukazatelem tlaku a průtoku. To vše by mělo zajistit stabilitu a spolehlivost chladicí jednotky.

Problémem tedy zůstává pouze teplota sochorů, vstupujících do tratě. Veškeré dochlazovací teploty jsou stanoveny na základě doporučené teploty ohřevu v peci. Praxe však prokazuje, že tato teplota není konstantní, a tudíž ani při sebelepším chladicím zařízení nelze dosáhnout rozptylu požadovaných mechanických hodnot tak, aby splňovaly jednak požadavek auditorů na rozložení dle Gaussovy křivky, a dále znamenaly provozní jistotu toho, že nejnižší hodnoty mechanických vlastností budou mít dostatečnou rezervu nad normativními minimy.

V praxi se setkáváme se třemi důvody rozptylu teplot okolo doporučené teploty ohřevu:

- Odchyłky způsobené délkou ohřevu – při předepsané teplotě ohřevu jednotlivých zón v peci dochází k určitému rozptylu teplot zejména jádra sochorů z důvodu nerovnoměrného odsunu materiálu z pece (technologické prostoje, seřizování, kontrolní odběry zkoušek)
- Odchyłky dané čekáním před tratí – aby bylo válcování plynulé, je potřeba vytahovat sochory z pece ještě dříve, než předchozí kus opustí válcovací trať, v případě drobného neplánovaného zásahu do tratě mezi těmito sochorý je další sochor zastaven před 1. pořadím, kde dojde k jeho částečnému zchladnutí
- Odchyłky teplot začátku a konce sochoru – do 1. pořadí vstupuje sochor většinou rychlostí cca 0,5 m/s, což při jeho délce 12 metrů znamená 24 sekund, než je celý proválcován, a z tohoto důvodu je konec sochoru vždy chladnější než jeho čelo

Snahou je proto navrhnout takový způsob automatické regulace průtoku a následně dochlazovacích teplot, aby jejich nastavení on-line reagovaly na okamžitou teplotu sochoru, vstupujícího do tratě.

2.4 Podmínky řešení

Pro zde navržený způsob automatického řízení nastavování průtoku jednotlivými ventily Golema byla využita stávající konstrukce. Při instalaci nového chladicího systému, navrženého VUT Brno, bude potřeba provést novou kalibraci systému chlazení a rovněž upravit řídicí program dle skutečného počtu sekcí a instalovaných ventilů.

Řízení je navrženo pro průměry 25, 28 a 32 mm, tedy pro průměry, které jsou válcovány pouze přes 3. pořadí. Řešení pro ostatní průměry není zatím možné, neboť ostatní průměry jsou válcovány dvoužilově, tzn. válcování probíhá současně přes 3. i 4. pořadí. Aby bylo možno aplikovat automatické nastavování průtoku i pro menší průměry, budou potřebné následující technické úpravy tratě:

- Průměry 10 a 12 mm jsou válcovány z kvadrátů 115 a 130 mm tak, že sochory prochází dvoužilově již prvním a druhým pořadím, tedy v pořadí mohou být najednou vedle sebe dva provalky, které jsou za druhým pořadím pevně nastavenou výhybkou distribuovány do 3., resp. 4. pořadí. Jelikož je však 3. stolice vybavena pouze jedním pyrometrem, nelze přesně určit teplotu obou sochorů, která navíc při střídavém průchodu v grafickém záznamu splývá. Řešením by byla instalace druhého pyrometru a změna jejich umístění tak, aby byla teplota snímána pro každou žílu zvlášť z vertikální polohy.
- Průměry 14 – 20 mm jsou sice přes první pořadí válcovány z kvadrátu 180 mm jednožilově (silové charakteristiky již nedovolují válcovat ve stolicích současně dva sochory tohoto kvadrátu), za prvním pořadím jsou však sochory výhybkou rozřazovány buď do 3., nebo 4. pořadí, přičemž neexistuje indikace, do kterého pořadí bude sochor odeslán. Zde se jako řešení jeví instalace indikace nastavení výhybky za prvním pořadím tak, aby bylo možno identifikovat pořadí, na kterém bude regulace průtoku prováděna.



***Obr. 3:** Umístění pyrometru v 1. pořadí*

Regulace průtoku musí být prováděna s určitým časovým zpožděním. Výsledný čas je dán časem průchodu vývalku od místa měření teploty, tj. 3. stolice 1. pořadí po vstup do chladicí jednotky Golem. Tento čas lze odečíst z řídicího systému tratě, kdy je po dokončené přestavbě na nový profil zadán systému požadavek na proválcování tzv. „fantomu“, tedy fiktivního kusu, kdy systém na základě nastavených rychlostí jednotlivých stolic a dopravníkových valníků simuluje průchod vývalku tratí tak, aby ověřil, zda jsou všechny výrobní parametry v souladu s podmínkami hladkého průchodu vývalku tratí.

Rozsah dochlazovacích teplot je ovlivněn třemi proměnnými:

- Vlastním průměrem hotového vývalku
- Chemickým složením tavby, použité pro výrobu tohoto vývalku. Toto složení je definováno interní značkou, v rámci které musí být dodrženy určité limity jednotlivých chemických prvků
- Externí jakostí výrobního příkazu, jež je definována příslušnou normou

2.5 Sběr a zpracování dat

Pro měření teploty válcovaného materiálu jsou používány pyrometry, senzory pro bezkontaktní měření teploty. U těchto senzorů je měření teploty založeno na vyhodnocování elektromagnetického záření, které vyzařuje každé těleso, jehož teplota je vyšší než 0 Kelvinů. Intenzita vyzařování závisí na teplotě tělesa a teoretickým základem pro určení je Stefan-Boltzmannův zákon (1), který říká, že intenzita vyzařování tělesa je přímo úměrná čtvrté mocnině termodynamické teploty. [2], [3]

$$M_0 = \sigma \cdot T^4, \text{ kde } \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^4 \quad [3] \quad (1)$$

| | | | |
|------|----------|---|--|
| kde: | M_0 | - | Intenzita vyzařování (Wm^{-2}) |
| | σ | - | Stefan-Boltzmannova konstanta (Wm^{-2}K^4) |
| | T | - | Termodynamická teplota (K) |

Tento vztah však platí pouze pro černé těleso. Pro reálná tělesa je nutno vzít v potaz, že vyzařuje a pohlcuje méně než černé těleso. Tuto skutečnost lze korigovat faktorem, který se nazývá emisivita. Emisivita je definována jako poměr energie vyzařované objektem při dané teplotě k energii vyzařované dokonale černým tělesem při téže teplotě. Nabývá tedy hodnot od 0 do 1 a lze ji považovat za konstantní v širokém rozsahu vlnových délek. Dalším důležitým parametrem je zorný úhel, který musí být takový, aby zabíral v celém záběru snímané těleso. [3]

Teplota se měří za 3. stolicí prvního pořadí a za 2. pořadím. Na obou místech jsou použity pyrometry Pyrofast 02/RD s rozsahem 600 – 1800 °C. Tyto senzory měří až 25krát za sekundu s přesností ± 10 °C. Pro měření teploty za 3. a 4. pořadím jsou umístěny pyrometry Raytek PM500 Marathon s rozsahem 600 – 1400 °C. Měřená teplota je opět s přesností ± 10 °C. Kromě teploty je u ventilů měřen tlak a průtok. Protože je už toto měření implementováno, není nutné jej v této práci řešit.

U všech z těchto použitých senzorů jsou využity jejich proudové výstupy 4 – 20 mA. Tyto signály jsou zpracovány pomocí PLC Advant Controller 110 od firmy ABB. Signály jsou tedy přivedeny na vstupní analogovou kartu PLC. Data z PLC jsou využita pro vizualizaci běžící na počítači v řídicí kabině. Jako vizualizační systém je použit software ProCop s rozšířením ProCop Web, aby bylo možno si například zobrazit průběhy teplot jednotlivých bloků i na jiných počítačích v rámci sítě společnosti. Tento systém je podrobněji rozebrán v kapitole 5.2. Pokud teplota nedosahuje požadovaných hodnot, je ručně uzavřen nebo pootevřen jeden z ventilů.

3 Programovatelné automaty

Programovatelné automaty (PLC – Programmable Logic Controller) jsou řídicí systémy určené především pro řízení v průmyslu. Jsou vhodné hlavně pro logické úlohy. Podle konstrukce lze PLC rozdělit na kompaktní a modulární. Kompaktní PLC se skládají z jednoho modulu, který obsahuje všechny důležité části (například CPU, analogové a digitální vstupy a výstupy). Používají se zejména u jednodušších aplikací. Modulární PLC obsahují více modulů, nejčastěji vstupy a výstupy nebo komunikační moduly. [4]



Obr. 4: Modulární PLC Simatic S7 1500 od firmy Siemens, převzato z [6]

3.1 Program v PLC

Uživatelský program je tvořen sledem instrukcí a celý program je vykonáván cyklicky. Není třeba, aby se programátor staral o vrácení programu opět na začátek, o to se stará tzv. systémový program, který zajišťuje celý chod PLC. Programy jsou většinou vytvářeny na počítači pomocí speciální aplikace a následně se nahrají na PLC (do paměti RAM nebo flash). [5]

3.2 Programovací jazyky

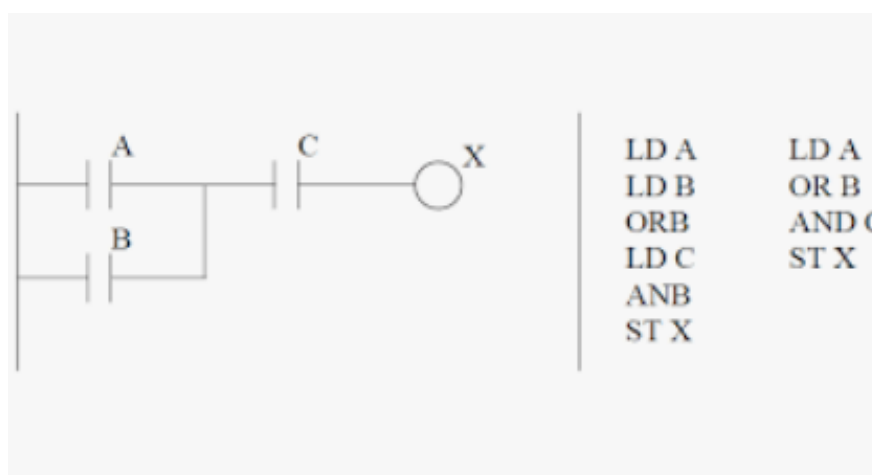
Programovací jazyky používané pro PLC jsou definovány v normě IEC 61131-3, která se obecně věnuje PLC. Tato norma definuje 5 jazyků: Instruction List (IL), Structured Text (ST), Ladder Diagram (LD), Function Block Diagram (FBD) a Sequential Function Chart (SFC). [7]

IL je textový jazyk nižší úrovně, který se podobá zápisu v assembleru. Program je složen pouze z posloupností instrukcí (například LD – načtení proměnné, ST – uložení na výstup), a proto jsou méně náročné na výkon oproti ostatním jazykům. Další výhodou je, že zabírá méně paměti v PLC. Pro složitější aplikace by však mohl být nepřehledný. Dalším textovým jazykem definovaným normou je ST. Je to vyšší programovací jazyk, který je podobný Pascalu, především svou syntaxí. [10], [11]

FBD je grafický programovací jazyk. Využívá bloky, které jsou spolu vzájemně propojené. Mimo základních logických operací jsou definovány i bloky pro čítače, časovače, nebo RS klopný obvod. Bloky jsou provedeny až tehdy, pokud mají platná data na všech jejich vstupech. Je vhodné jej použít, pokud má mít řídicí aplikace charakter logických operací. [9]

LD je také grafickým jazykem, který je založen na reléové (binární) logice. Jeho základem je práce s kontakty, které mohou být spínací, rozepínací, s detekcí náběžné či sestupné hrany. Pro binární řízení je tedy velmi vhodný, zatímco u aritmetických výpočtů či zpětnovazebního řízení by byl program příliš složitý a nepřehledný. [9]

I poslední z těchto jazyků, SFC, je graficky orientovaný jazyk, který nachází uplatnění u sekvenčních úloh. Jeho struktura je založena na stavech a přechody mezi nimi. Použité bloky odpovídající určitým stavům mohou být zavedeny jako podprogramy napsané v jakémkoli z uvedených jazyků. [11]



Obr. 5: Zápis jednoduché úlohy s logickými operacemi AND a OR v instruction list a ladder diagramu, převzato z [12]

4 Uživatelská rozhraní a vizualizace

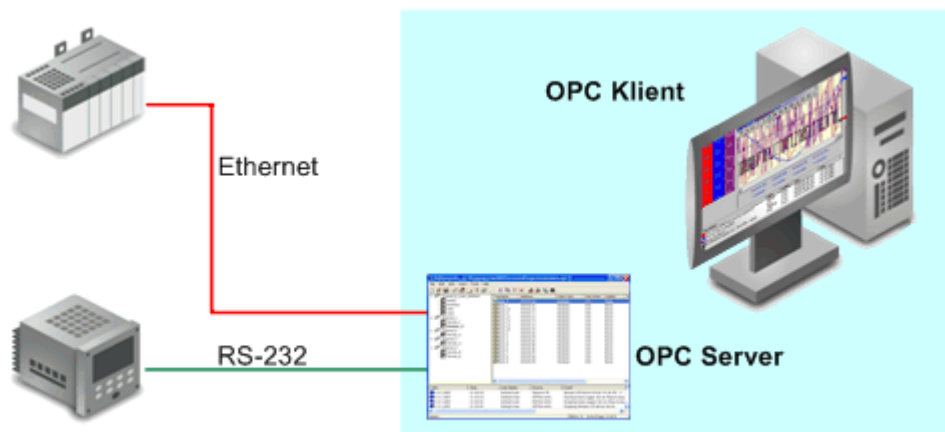
V dnešní době je stále důležitější sběr a vyhodnocování dat, nebo možnost převzít kontrolu nad automatizovaným řízením. K tomu slouží různé druhy uživatelského rozhraní. Nejjednodušší možností jsou panely s tlačítky, přepínači a indikátory. Dnes jsou využívány hlavně pro bezpečnostní aplikace. Další možností pro HMI (Human Machine Interface – rozhraní člověk-stroj) je operátorský panel s displejem. V neposlední řadě lze využít aplikace běžící na počítači. Takové systémy se pak označují jako SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). Mezi nejznámější vizualizační software se řadí InTouch od společnosti Wonderware, Simatic WinCC (Siemens), nebo Control Web (Moravské přístroje a.s.). [11]

4.1 Komunikace mezi PLC a vizualizací

Přenos dat lze fyzicky realizovat pomocí klasické sériové linky RS232 nebo RS485. Následný komunikační protokol pak musí být realizován softwarově. Komunikace je možná i připojením karty pro některou průmyslovou sběrnici (Profibus, Ethernet), případně lze využít síťových karet počítačů.

Nejčastěji používanými komunikačními protokoly jsou DDE (Dynamic Data Exchange) a OPC (OLE for Process Control). Protokol DDE byl vyvinut společností Microsoft a souběžně běžící aplikace jsou spolu ve vztahu klient/server, některé z nich mohou být zároveň klient i server, tedy mohou data požadovat nebo poskytovat. Mezi takové se řadí například InTouch nebo také MS Excel. Adresace se provádí následovně: zadáme jméno aplikace, s níž chceme komunikovat, následně zvolíme oblast v této aplikaci a k ní nakonec i konkrétní položku (u MS Excel například: jméno Excel, oblast List1 a položka bude konkrétní buňka). [11], [13]

Protokol OPC je vyvíjen organizací OPC Foundations a je založen na podobných principech jako DDE. Cílem tohoto protokolu je vytvoření jednotného komunikačního rozhraní v průmyslové automatizaci. Pro každé zařízení tak není nutné instalovat speciální ovladače. Komunikace u OPC má také architekturu klient/server. OPC server je program, který komunikuje se zařízením, které je k němu připojeno, jeho vlastním komunikačním protokolem a získaná data převede do formátu OPC. Vizualizační software, OPC klient, pak přijímá data z OPC serveru ve formátu OPC. [14]



Obr. 6: Schéma architektury OPC, převzato z [14]

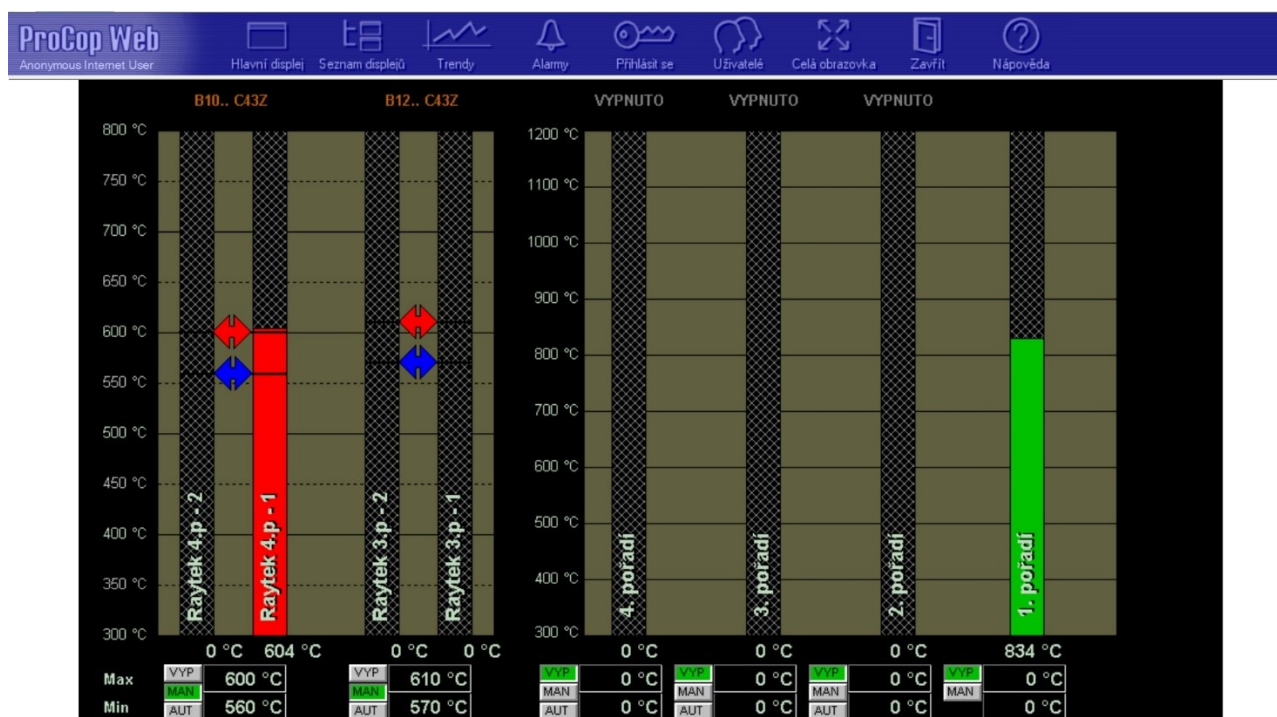
Na trhu lze najít mnoho různých výrobců tohoto software. Mezi nejznámější OPC servery patří například KEPServerEX, IE Softnet E7, PB Softnet E7, VIPA OPC Server, PROMOTIC, nebo ProCop, který je ve společnosti Liberty Ostrava a.s. používán.

4.2 Software ProCop

ProCop je monitorovací a vizualizační software od společnosti ALFA Mikrosystémy spol. s r.o. se sídlem v Ostravě. Tato firma se zabývá vývojem a aplikací monitorovacích systémů technologických procesů se specializací na sledování tepelného hospodářství. Konkrétně je v současnosti implementován na Středojemné válcovně software ProCop 2. Existuje však novější verze s vylepšenými možnostmi monitorování ProCop 3, která je neustále vyvíjena a vylepšována.

Základem systému ProCop 2 je vizualizační program Process Monitor. Tento program řídí monitorování technologie v reálném čase, komunikaci se sledovanými systémy, aktuální data zobrazuje ve formě dynamizovaných schémat a provádí i archivaci hodnot veličin, aby bylo možné je později zpracovat. Mezi další služby poskytované tímto programem patří například historické trendy s možností zobrazení v tabulce či v grafu, obousměrná komunikace s libovolnou aplikací prostřednictvím DDE, případně NetDDE, nebo alarmy s možností archivace, tisku, nebo zasílání textových zpráv na mobilní telefon.

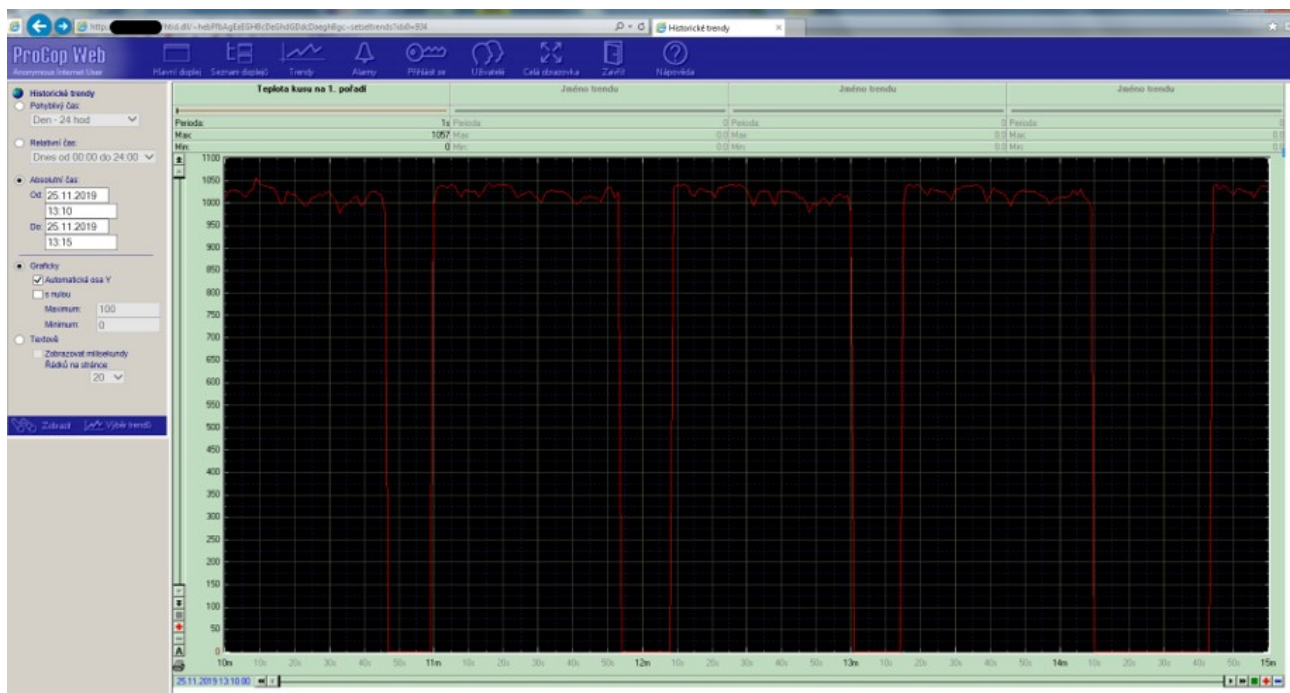
Další důležitou součástí tohoto systému je vývojové prostředí Visual Designer. Tvorba projektu je zde intuitivní a velmi rychlá. Definují se připojená zařízení, jejich parametry a způsob připojení k řídicímu počítači a definují se také databáze, kde se budou přijímané veličiny archivovat. Následně lze vytvořit schéma sledované technologie složené z grafických objektů nebo textů. Schémata jsou kreslena grafickým editorem typu WYSIWYG. U kteréhokoli objektu lze dynamizovat prakticky všechny jeho vlastnosti. Pro dynamizaci je využit procesní jazyk Bára vyvinutý společností ALFA Mikrosystémy spol. s.r.o. speciálně pro systém ProCop 2. Programátorskou příručku pro tento jazyk lze najít na stránkách výrobce. Pro dokončení celého projektu se následně definují alarmy a hotový projekt se zkompiluje. [15]



Obr. 7: Ukázka technologického displeje z ProCop 2

Firma Liberty Ostrava a.s. používá taktéž rozšíření tohoto systému ProCop Web. Monitorovací technologie je tak přístupná z kteréhokoli počítače v místní síti nebo dokonce z celého internetu. V podstatě se jedná o dynamické WWW stránky, kde je možné prohlížet historické trendy, alarmy (WebTrends a WebAlarms) nebo technologické displeje (WebView) a nastavovat hodnoty (WebControl). Přístup z webu je chráněn hardwarovým klíčem, který je umístěn pouze na monitorovacím počítači.

Na obr. 10 je ukázka obrazovky počítače, který využívá aplikaci ProCop Web, konkrétně WebTrends. Zde si uživatel může zadat časové rozmezí, případně i upravit rozsah hodnot na ose y. V horní liště lze snadno přepínat mezi trendy, alarmy nebo hlavním technologickým displejem.

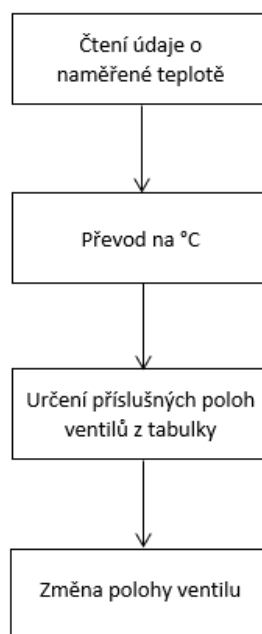


Obr. 8: WebTrends zobrazující průběhy teplot z 1. pořadí na Středojemné válcovně

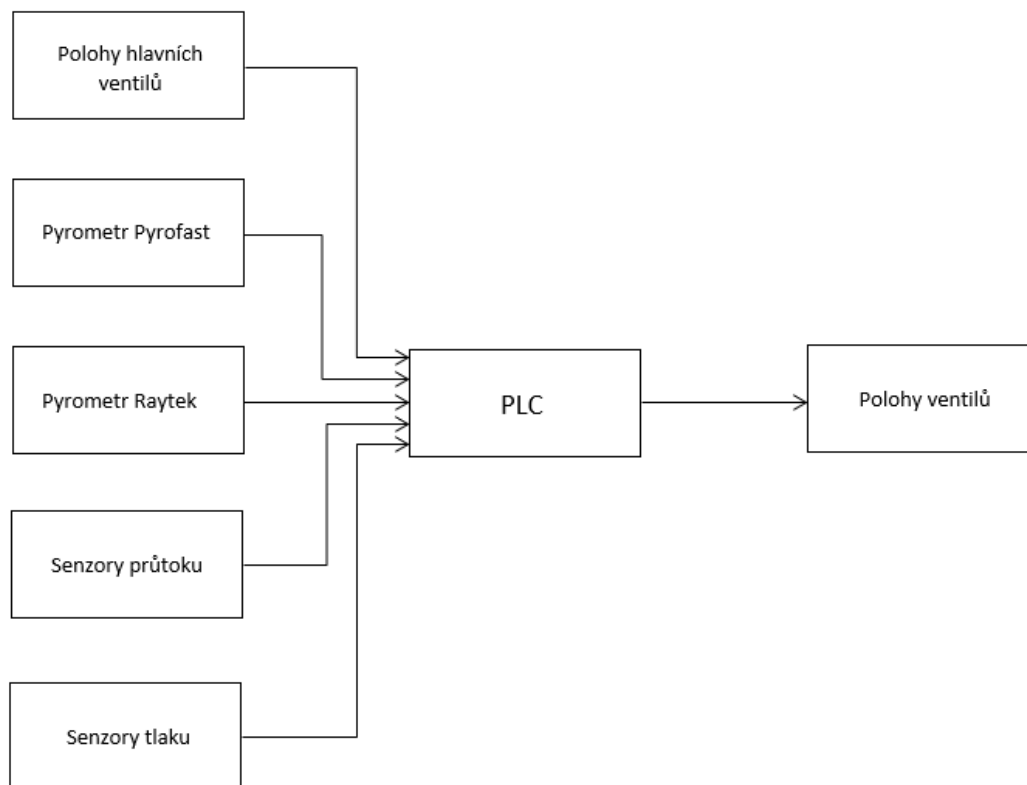
5 Návrh nového řídicího systému

Návrh se týká především způsobu, jak chladicí systém automatizovat, a vytvořením potřebného software, tedy programu pro PLC a vizualizace. Pyrometr, který je umístěn v 1. pořadí, je možno využít pro vstupní informaci o teplotě. Protože je druhý pyrometr využit jako kontrolní, zda je teplota po dochlazení v požadovaném rozsahu, není možno jej použít pro zpětnou vazbu. Proto byl navržen takový systém, který respektuje aktuální možnosti a uspořádání všech prvků a komponent.

PLC demonstrátoru tedy zpracuje údaj o teplotě a pošle jej do vizualizace běžící na PC. Jako komunikační rozhraní mezi PLC a vizualizací je použit software OPC KepServerEX6 a vizualizace je vytvořena v softwaru InTouch. Následně se ve spolupráci s firmou Liberty Ostrava a.s. vytvoří tabulka, kde se určitému typu materiálu podle jeho změřené teploty určí příslušné procentuální hodnoty otevření ventilů. V kapitole 6 je uveden postup, jak se bude tabulka vytvářet. Prozatím je analýza provedena pro jeden typ betonářské oceli, protože se po rekonstrukci musí proměřit optimální polohy pro všechny tyče, kompletní tabulka bude vytvořena až po rekonstrukci. Aby byla v budoucnu možná jednoduchá úprava této tabulky, bude umístěna do Excelu, ze kterého budou hodnoty odečítány. Tato tabulka bude zabezpečena pouze pro čtení nebo pro úpravu. Následně se hodnoty o polohách ventilů předají zpět do PLC, které je převede na požadovanou hodnotu pro ventily. Vše bude probíhat s patřičným zpožděním, které bude taktéž proměřeno ve spolupráci s Liberty Ostrava a.s.



Obr. 9: Princip navrženého řídicího systému

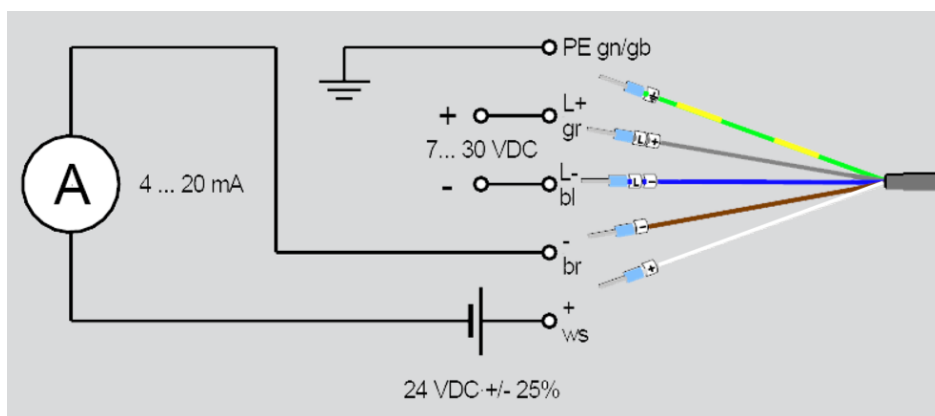


Obr. 10: Blokové schéma vstupů a výstupů PLC

Celý systém bude využívat všechny senzory, které již jsou přítomny na trati k monitorování systému. Kromě teplot z pyrometrů z 1. pořadí a za chladicím zařízením jsou to senzory průtoku a senzory tlaku.

Protože je na SJV ke sběru dat použit zastaralý programovatelný automat (AC 110) a při rekonstrukci se počítá s jeho výměnou, byl pro demonstraci zvolen automat, se kterým mám již zkušenosti: Simatic S7-1500 od německé společnosti Siemens. Taktéž není uvažováno o změně způsobu využití chladicí technologie po rekonstrukci.

Pro demonstrátor byl zvolen pyrometr s téměř shodnými parametry, jako je používaný Pyrofast 02/RD, tedy s proudovým výstupem 4-20 mA, rozsahem 600-1800 °C a lineární převodní charakteristikou. Těmto parametrům odpovídá pyrometr PYROSPOT DS 40N. Na *obr. 12* je zobrazeno schéma připojení senzoru k měřicímu zařízení z datasheetu. Jedná se tedy o dvou vodičové zapojení s volitelnou možností využití zaměřovacího LED světla (na obrázku svorky L+ a L-). [16]



Obr. 11: Schéma připojení vybraného pyrometru k měřicímu přístroji, převzato z [16]

Proporcionální ventily a jejich řízení jsou součástí zakázky pro rekonstrukci chladičového zařízení, proto byl jako výstup pro demonstrátor zvolen přímo ovladatelný proporcionální ventil Parker D3FC series. Tento ventil disponuje senzorem zpětné vazby, má zanedbatelnou hysterezi, lze si vybrat typ pro řízení pomocí napětí 0 ± 10 V DC, 0 ± 20 mA nebo 4-20 mA a je možné jej kalibrovat pomocí parametrizačního softwaru ProPxD.

5.1 Vytvoření programu v TIA Portalu

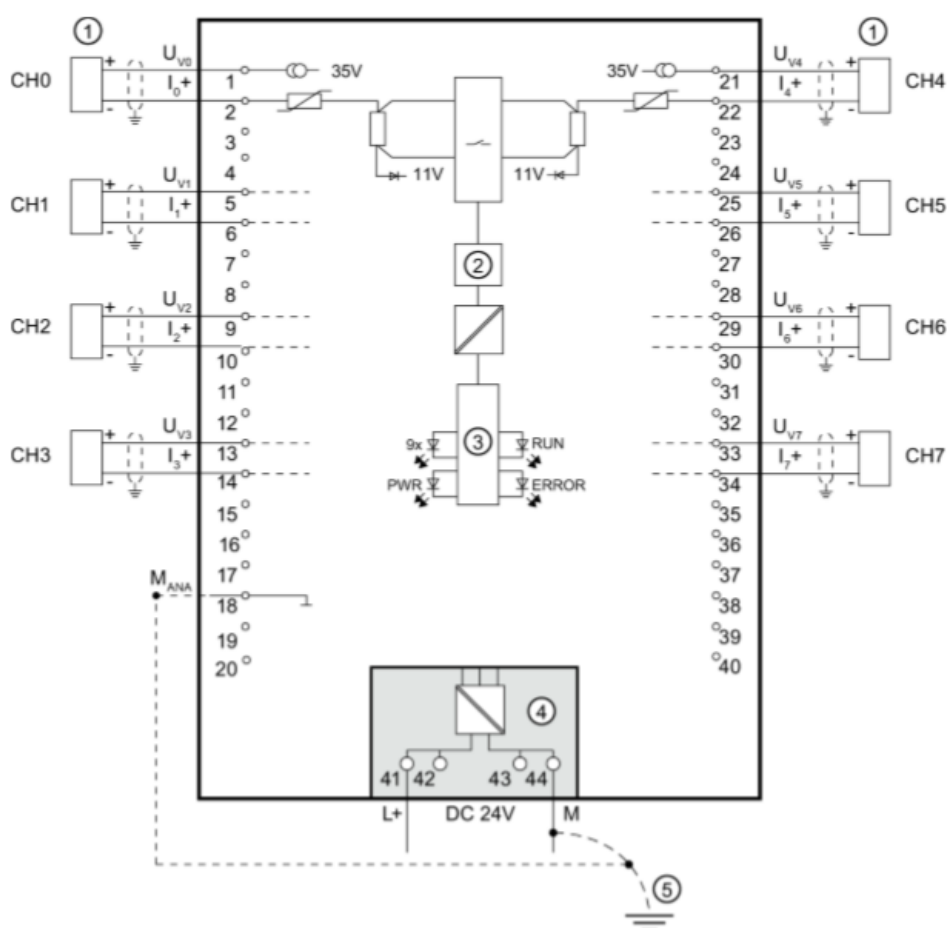
TIA Portal je vývojové prostředí pro tvorbu programu pro PLC od společnosti Siemens. Po vytvoření projektu je nutné vytvořit hardwarovou konfiguraci použitého PLC a ze seznamu všech modulů od Siemensu vybrat ten správný podle označení na štítku modulu. Kromě typu PLC (CPU – centrální procesorové jednotky) jsou potřebné moduly pro digitální vstupy (DI), digitální výstupy (DQ), analogové vstupy (AI) a analogové výstupy (AQ). Mimo těchto modulů se lze setkat i s moduly pro přerušovací vstupy, čítačové vstupy nebo výstupy pro pulsně šířkovou modulaci. Veškerá konfigurace modulů (typ, firmware apod.) a samotného PLC je na *obr. 13*.

| Module | Rack | Slot | I address | Q address | Type | Article no. | Firmware |
|-----------------------|------|------|-----------|-----------|---------------------|---------------------|----------|
| PLC_1500_3 | 0 | 0 | | | CPU 1516-3 PN/DP | 6ES7 516-3AN00-0AB0 | V1.6 |
| PROFINET interface_1 | 0 | 1 X1 | | | PROFINET interface | | |
| PROFINET interface_2 | 0 | 1 X2 | | | PROFINET interface | | |
| DP interface_1 | 0 | 1 X3 | | | DP interface | | |
| DI 32x24VDC HF_1 | 0 | 2 | 0...3 | | DI 32x24VDC HF | 6ES7 521-1BL00-0AB0 | V2.0 |
| DQ 32x24VDC/0.5A ST_1 | 0 | 3 | | 0...3 | DQ 32x24VDC/0.5A ST | 6ES7 522-1BL00-0AB0 | V2.0 |
| AI 8xU/I/RTD/TC ST_1 | 0 | 4 | 4...19 | | AI 8xU/I/RTD/TC ST | 6ES7 531-7KF00-0AB0 | V2.0 |
| AQ 4xU/I ST_1 | 0 | 5 | | 4...11 | AQ 4xU/I ST | 6ES7 532-5HD00-0AB0 | V2.0 |
| | 0 | 6 | | | | | |
| | 0 | 7 | | | | | |

Obr. 12: Hardwarová konfigurace PLC v TIA Portalu

Vybraný modul s analogovými vstupy lze využít pro měření napětí s rozsahy ± 10 V, ± 5 V, $\pm 2,5$ V, ± 1 V, ± 500 mV, ± 250 mV, ± 80 mV a ± 50 mV, dále i proud s rozsahy 0-20 mA nebo 4-20 mA. Lze také připojit odporové senzory. Vše se jen připojí podle schémat uvedených v datasheetu daného modulu a do příslušných bytů se zapíše hodnota podle toho, kterou metodu jsme zvolili.

Na *obr. 14* je uvedeno vnitřní schéma modulu pro dvouvodičové měření proudu. Na vstupní svorky jednoho z kanálů se připojí měřený signál (1). Ve dvouvodičovém zapojení lze na tomto modulu měřit proudový rozsah pouze 4-20 mA. Následně je měřená hodnota převedena A/D převodníkem (2). Modul obsahuje i LED diody (3), které slouží k indikaci stavu, například zda nenastala chyba. Ve spodní části schématu je zobrazeno připojení napájení tohoto modulu (4) a ekvipotenciálního zemnicího kabelu (5). [17]



Obr. 13: Vnitřní schéma modulu pro dvouvodičové měření proudu, převzato z [17]

Základními datovými typy, které lze použít jsou: bit (1b), byte (8b), word (16b), double word (32b) a long word (64b). Podle toho, který typ proměnné chceme (například char, int, real, se znaménkem nebo bez), musíme zvolit i dostatečnou velikost paměti, kterou budou námi zvolené proměnné zabírat. Pro int je to tedy typ word a pro real double word. Proměnná typu real se do paměti zapisuje stylem mantisa a exponent. U definice proměnné je také důležité definovat datovou oblast. K dispozici jsou oblasti pro vstupy, výstupy, paměť (memory), časovače, čítače, lokální proměnné a datové bloky.

Program je vytvořen v Ladder diagramu a je organizován do bloků. Organizační bloky (OB) jsou rozhraním mezi systémovým a uživatelským programem. Každému organizačnímu bloku je přiřazeno číslo, které zároveň vyjadřuje jeho prioritu. Blok OB1 je cyklicky volaný blok, který obsahuje uživatelský program. Další bloky slouží například pro časová přerušení, asynchronní chyby, nebo hardwarové přerušení. Datové bloky (DB) neobsahují program, ale uživatelská data. Pouze v nich lze definovat pole. Funkční bloky (FB) a funkce (FC) slouží pro opakované algoritmy, už podle jejich názvu slouží pro funkce. Funkční blok má oproti funkci přiřazenou paměť a lze v něm definovat dočasné proměnné.

Základem programu jsou přepočty pomocí bloků *calculate*, které provedou výpočty podle zadaných výrazů. Důležitým aspektem, na který je třeba brát ohled je, že změna polohy ventilu musí proběhnout až za 14 vteřin od změření teploty. Proto je v programu vytvořeno pole, které slouží jako buffer, do kterého se hodnoty zapisují a zároveň i po 14 vteřinách čtou. To je dosaženo astabilním klopným obvodem sestaveného z časovačů TON, který začne s časováním se změnou na vstupu z logické 0 na logickou 1, a TOF, který reaguje na změnu z 1 na 0. Protože je rozepínací kontakt řídicího bitu ze začátku v sepnuté pozici, časovač TON se načasuje a na bit je zapsána logická 1, která způsobí rozepnutí na vstupu a tím i načasování druhého časovače a zapsání logické 0 na tento bit. Tím se situace opět opakuje.



Obr. 14: Sestavení astabilního klopného obvodu

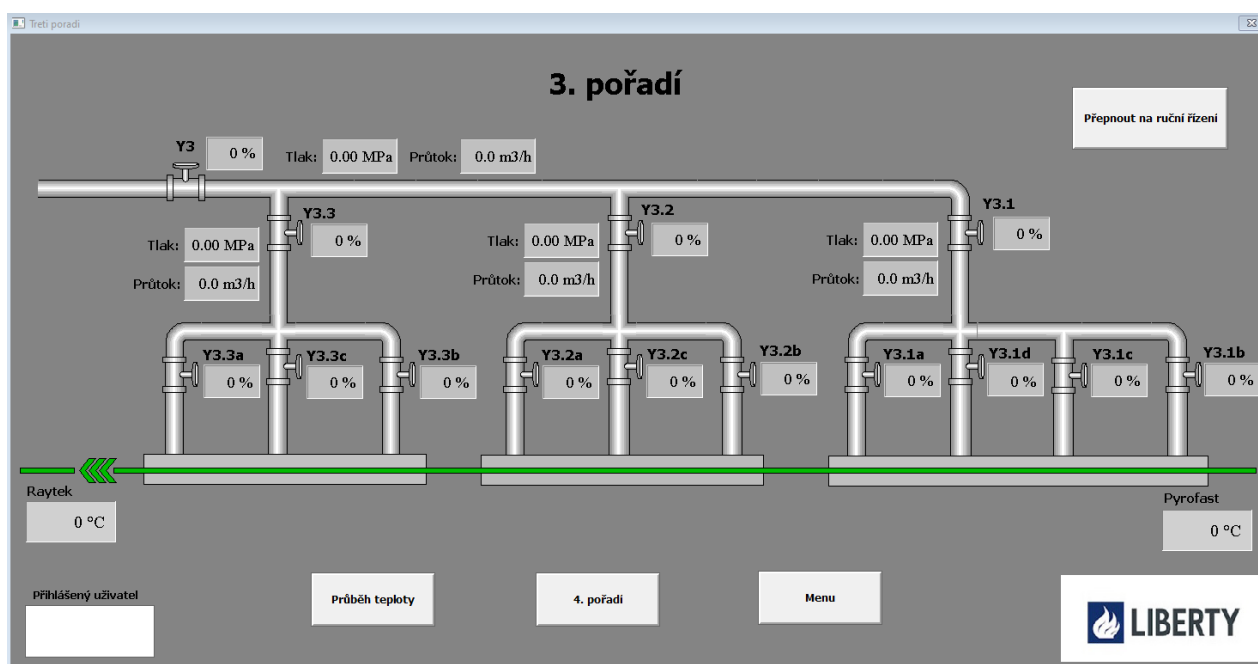
Počet pulsů u časovačů počítá čítač a podle jeho hodnoty je zvolen index pole, do kterého je měřená hodnota zapsána a zároveň je čtena hodnota s indexem o 1 vyšším. Případné hodnoty, které by v paměti zůstaly nejsou důležité, protože tyč k chladicímu zařízení dorazí až za 14 vteřin. Čítač se pravidelně restartuje a tím je zajištěna prodleva čtrnácti vteřin mezi čtením a zápisem hodnot pomocí bloku *move*. Čítač je nutné restartovat už ze začátku, kdyby se náhodou stalo, že by v paměti zůstala uložena hodnota z předešlého chodu programu.

Tímto způsobem jsou sice zahazeny všechny hodnoty, které jsou mimo interval časování, ale zápis každou půlvteřinu je pro aplikování tohoto systému dostačující. Pro zvýšení počtu vzorků lze kdykoli navýšit počet hodnot v poli a upravit čas u časovačů.

5.2 Návrh vizualizace

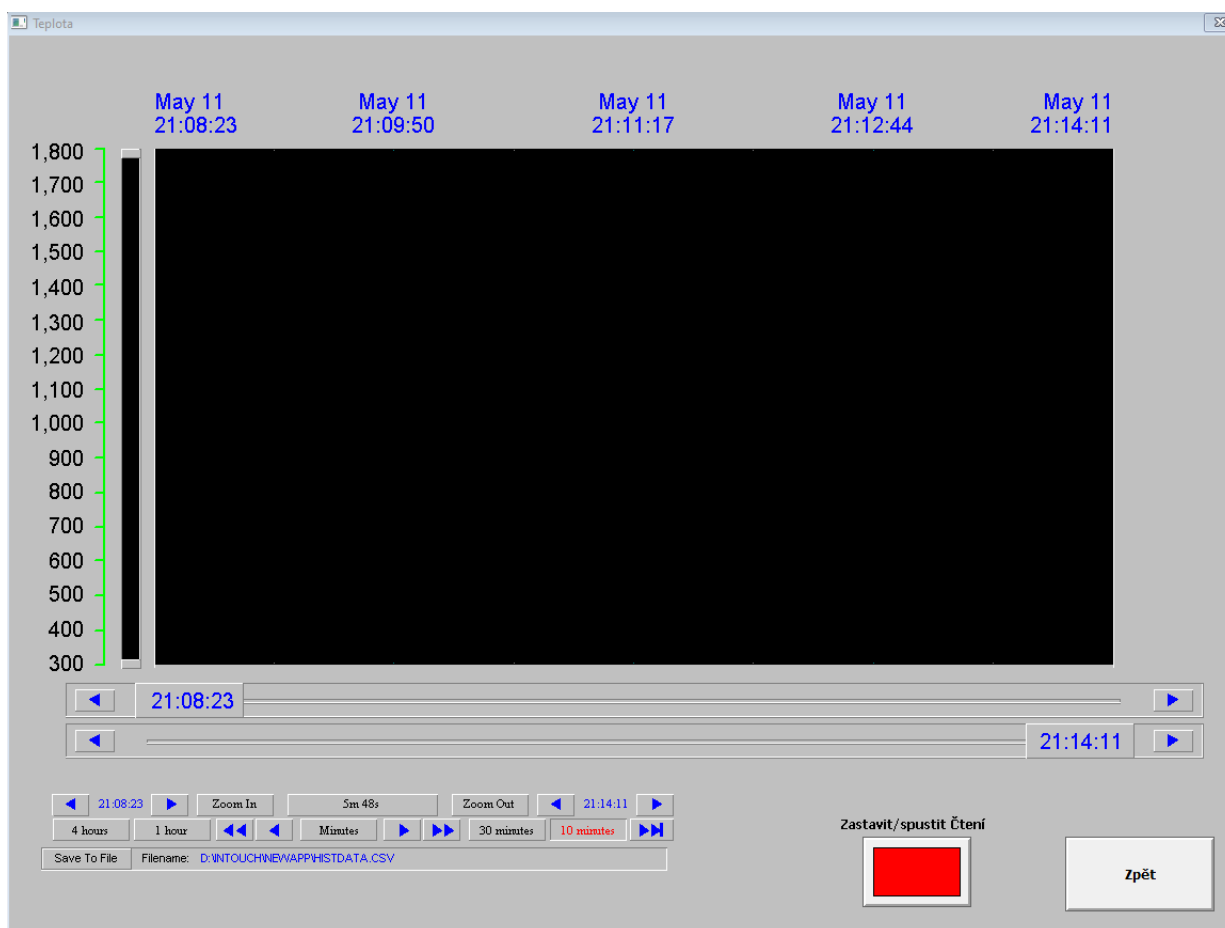
Návrh vizualizace je proveden v software InTouch, který je vyvíjen společností Wonderware. Tento software je nabízen s určitými omezeními zdarma, tato verze však pro tuto aplikaci vyhovuje. Vizualizace je rozdělena do několika oken. V hlavní nabídce se lze dostat na kterékoli okno stiskem příslušného tlačítka, zde je možné přepnout na přihlašovací obrazovku, obrazovku z chladicího zařízení ze 3. nebo ze 4. pořadí, nebo na okno s průběhy teplot.

Na obrazovkách chladicích zařízení lze podle schémat pro jednotlivá pořadí vidět polohy všech ventilů. U hlavních ventilů, které jsou buď jen otevřeny nebo uzavřeny, je zobrazována pouze hodnota 0 % nebo 100 %. Do budoucna se taktéž počítá s napojením současně monitorovaných veličin, kterými jsou tlak v megapascálech a průtok v metrech krychlových za hodinu. Na schématu z *obr. 12* prochází zařízením tyče zprava doleva, proto je změřená teplota vstupující části tyče zobrazena vpravo a teplota po zchlazení vlevo. Zde je možné přepnout přímo na další pořadí, průběhy teplot, nebo zpět do menu. Pokud je přihlášen uživatel, může přepnout na ruční zadávání hodnot poloh ventilů.



Obr. 15: Obrazovka vizualizace ze 3. pořadí

Pro průběh teploty je využit historický graf. Ten umožňuje zobrazit i dříve přijatá data. Historický graf se neustále během chodu programu aktualizuje, proto je pro procházení dat grafu nutné zastavit čtení hodnot příslušným tlačítkem, stejným tlačítkem se čtení hodnot opět zapne. Tyto data je možné uložit do csv souboru, ve kterém je text formátován do tabulky, proto je možné jej otevřít i v Excelu.



Obr. 16: *Obrazovka s teplotními průběhy*

Na přihlašovací obrazovce je v levém dolním rohu zobrazen aktuálně přihlášený uživatel. Pokud je zde uvedeno “None“, není přihlášen žádný uživatel. Aplikace může běžet i bez přihlášení, jediný rozdíl pro uživatele je viditelnost hesla pro sešit Excelu na hlavní obrazovce, který musí být také spuštěn, aby bylo možno načítat data z tabulky v Excelu. Bez přihlášení také nelze přepnout na ruční řízení. Jsou definováni dva uživatelé: “user“ a “administrator“. Administrator je oprávněn měnit tabulku v Excelu a vidí obě hesla, pro běžného uživatele a správce.

Určení správné hodnoty z Excelovské tabulky je řízeno jednoduchým skriptem. Skript je krátký kousek kódu, který se vykoná při určité akci. Je na výběr několik skriptů. Mezi nejčastější patří například application script, key script nebo condition script. U jednotlivých skriptů lze definovat další podmínky. Application script má na výběr, zda se bude skript vykonávat při startu, během chodu, nebo při vypnutí aplikace. U podmínkových skriptů lze například definovat *on true*, *while true*, *on false*, nebo *while false*. V této vizualizaci je použit skript pro aplikaci *while running*, protože je potřeba, aby se čtení a zápis všech hodnot prováděl periodicky.

Proměnné, které se ve vizualizačním software InTouch používají, jsou nazývány “Tags“, neboli tagy. U každého z tagů je nutno definovat typ, tedy zda je *memory real* (reálná čísla), *memory integer* (celá čísla), nebo *I/O integer* či *I/O real* pro čtení a zápis hodnot z jiných zdrojů. U proměnných typu I/O je nutné specifikovat zdroj, zde označený jako *Access Name*. Nastavení pro Excel je zobrazeno na obr. 17. Jak již bylo uvedeno dříve, je nutné specifikovat jméno aplikace (Excel), oblast dat v této aplikaci (Polohy.xlsx) a k ní nakonec i konkrétní položku (konkrétní buňka). Konkrétní položku je nutné specifikovat pro konkrétní proměnnou.

Modify Access Name

| | | |
|---|-------------|----------|
| Access Name: | Excel | OK |
| Node Name: | | Cancel |
| Application Name: | Excel | Failover |
| Topic Name: | Polohy.xlsx | |
| Which protocol to use | | |
| <input checked="" type="radio"/> DDE <input type="radio"/> SuiteLink <input type="radio"/> Message Exchange | | |
| When to advise server | | |
| <input type="radio"/> Advise all items <input checked="" type="radio"/> Advise only active items | | |
| <input type="checkbox"/> Enable Secondary Source | | |

Obr. 17: Nastavení pro čtení a zápis z aplikace Excel pomocí DDE protokolu

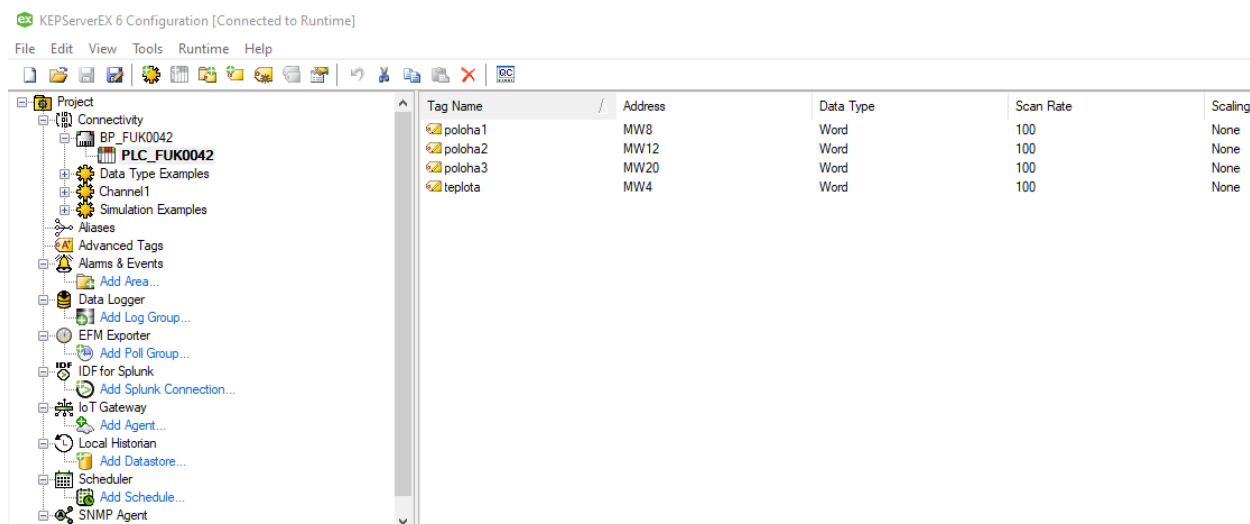
Tyto odkazy lze za chodu programu měnit pomocí skriptů s využitím klíčového slova *Reference*.

5.3 Propojení vizualizace s programem a ladění

Vizualizace je s programem v PLC propojena pomocí programu KEPServerEX6. Zde je nutné vytvořit nový kanál a zvolit způsob připojení. V takto vytvořeném kanále se přidá nové zařízení, v tomto případě model Simatic S7-1500 a zadá se jeho adresa. Pak už se pouze přidají proměnné (tagy), které chceme předávat mezi PLC a vizualizací. V projektu je ještě potřeba povolit FastDDE a SuiteLink připojení. U tagů se může objevit kvalita „Bad“. V tom případě se musí u projektu v TIA Portalu povolit vzdálený přístup pro PUT/GET komunikaci. Ve vizualizaci se pak obdobně jako pro komunikaci s Excelem vytvoří u proměnné zdroj z KEPServeru a jako adresu proměnné přiřadit úplnou adresu z KEPServeru.

Tab. 1: Porovnání adres PLC-KepServer-InTouch

| PLC název | PLC adresa | KepServer | InTouch |
|----------------|------------|---------------------------------|----------|
| Vstup_teploata | MW4 | BP_FUK0042.PLC_FUK0042.teploata | teploata |
| Vystup_poloha1 | MW8 | BP_FUK0042.PLC_FUK0042.poloha1 | poloha1 |
| Vystup_poloha2 | MW12 | BP_FUK0042.PLC_FUK0042.poloha2 | poloha2 |
| Vystup_poloha3 | MW20 | BP_FUK0042.PLC_FUK0042.poloha3 | poloha3 |

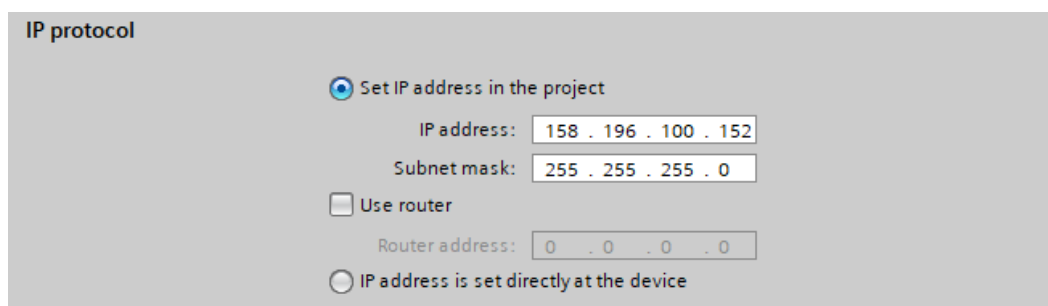


Obr. 18: Nastavení KEPServeru

Pro ladění programu bez reálného PLC lze využít program PLCSIM Advanced, který byl vytvořen společností Siemens k ladění programů napsaných v TIA Portalu. Aby tento simulační program mohl přistupovat k TCP/IP síti, vyžaduje instalaci jiného programu WinPcap. Ladění programu je v tomto případě provedeno programem PLCSIM Advanced V2.0 SP1.

Aby bylo možné se připojit k testovanému programu i s vizualizací, je nutné přepnout PLCSIM na virtuální ethernetový adaptér. Tuto možnost lze zvolit pouze v případě, že je povolena služba NetGroup Packet Filter (NPF). Pro povolení je nutný program WinPcap, který umožňuje aplikacím přístup k síťové vrstvě v prostředí Windows. V příkazovém řádku se pak tato služba spustí příkazem „*net start npf*“. Musí však být spuštěn jako správce.

V TIA Portalu nelze měnit hodnoty z fyzických vstupů, proto se při ladění tímto způsobem musí změnit tyto proměnné na typ *memory*. Musí se také nastavit adresa PLC v oblasti profinet interface X1. Této adrese přizpůsobíme nastavení KEP Serveru, aby se připojil na správnou adresu, a PLCSIM Advanced. Pokud se adresa v TIA Portalu a PLCSIM liší, je uživatel upozorněn a má možnost adresu nechat automaticky přepsat.

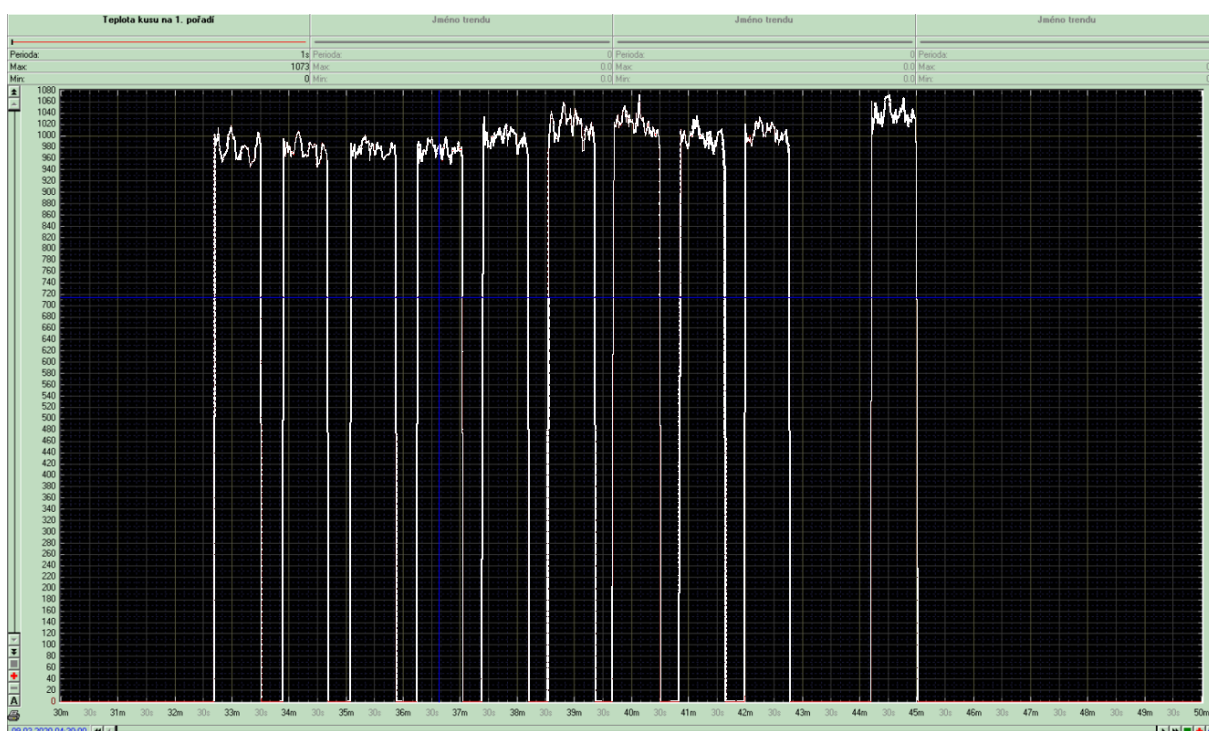


Obr. 19: Nastavení adresy v TIA Portalu

6 Určení optimálních poloh ventilů

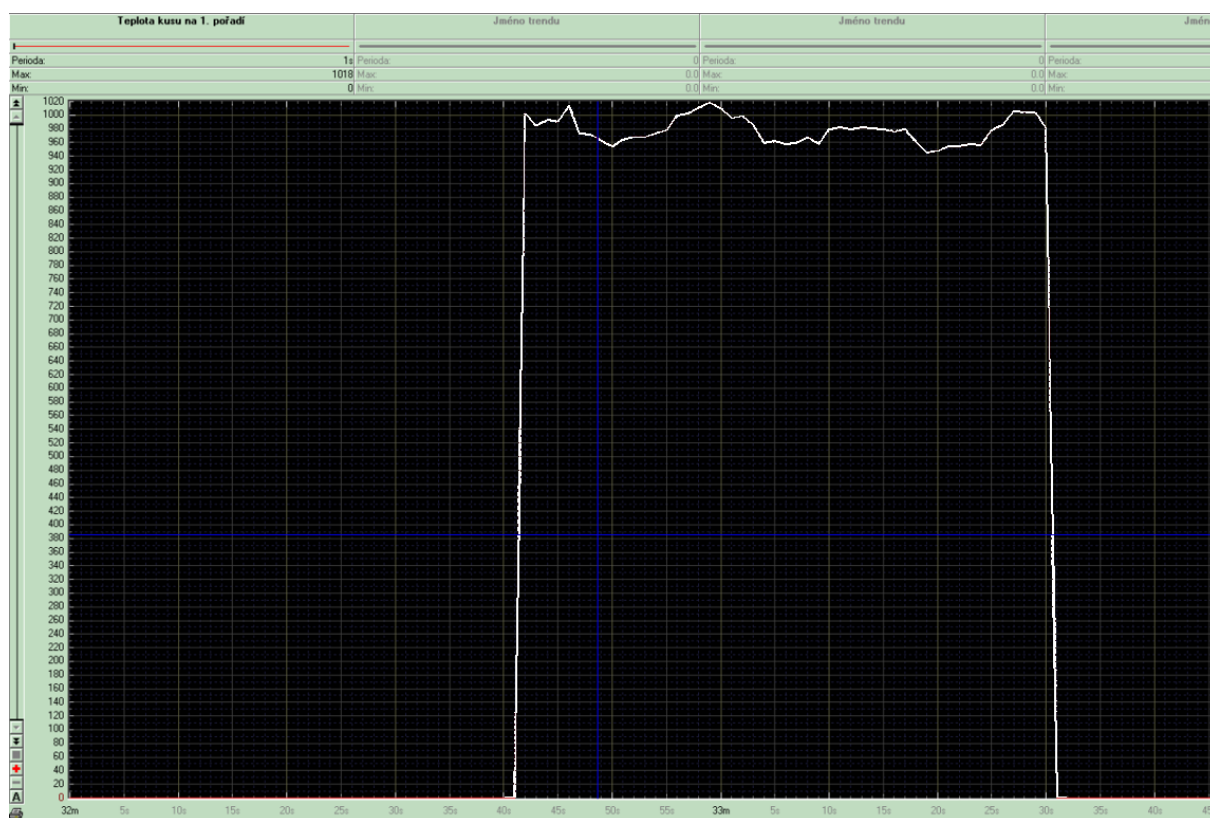
V rámci sledování provozních ukazatelů jsou veškeré údaje, týkající se teplot, rychlostí, odběrových charakteristik a průtoků médií, archivovány na provozním serveru a je možno je zpětně využívat k vyhodnocování a kontrole.

Na obrázku níže je prezentován záznam průběhu teplot pro jeden z vyhodnocovaných rozměrů, konkrétně se jedná o B25, kdy bylo řízenou změnou parametrů ohřevu dosaženo ilustrativního rozdílu teplot jednotlivých sochorů:



Obr. 20: Kolísání teplot sochorů B25

Na vertikální ose Y jsou zaznamenány teploty sochoru v okamžiku průchodu zmiňovanou 2. stolicí I. válcovacího pořadí, na horizontální ose X jsou časy průchodu jednotlivých sochorů. Jeden sloupec grafu pak představuje detail průchodu jednoho kusu sochoru. Časové měřítko lze měnit zadáním časového intervalu měření od-do. V tomto případě se jedná o čas od 09:30 do 09:50. Pro rozbor kolísání teplot v rámci průchodu jednotlivého sochoru lze pak úpravou zadaného časového intervalu graficky zobrazit detailnější průběh teploty – viz obr. níže.



Obr. 21: Detail kolísání teplot v čase pro první sochor

Z tohoto grafu lze již přesně stanovit rozsah kolísání teplot v průběhu průchodu sochoru stolicí, a rovněž tak délku tohoto průchodu. Při známé délce sochoru tak získáváme nástroj pro přiřazení teploty konkrétnímu místu sochoru. Stejně tak je pak možno určit na základě metrové hmotnosti provačku ve 2. stolicí a metrové hmotnosti hotového výrobku, ze které části sochoru je konkrétní část hotového výrobku. Jak je z výše uvedených grafů patrné, dochází ke kolísání teplot, v tomto konkrétním případě v intervalu 940 – 1020°C. Důvodů je hned několik:

- poloha sochoru v peci, uloženého na trámčích, které zabraňují přístupu tepla v místech vzájemného styku ploch
- rozmístění hořáků v peci
- doprava sochoru příčnými řetězy na válečkový dopravník – zvýšený odvod tepla v místech vzájemného dotyku ploch
- postupné chladnutí sochoru v průběhu válcování

V rámci každého sledovaného profilu bylo vyčleněno 10 ks sochorů, u kterých byla snaha dosáhnout záměrnou změnou parametrů řízení ohřevu rozdílu teplot. Tato změna parametrů měla alespoň částečně simulovat rozdílné provozní podmínky, které vznikají z důvodu nepředvídatelných provozních situací. Během těchto situací dochází k přestávkám ve válcování, čímž je vynucena změna režimu ohřevu sochorů v peci, a rovněž se mění i celková délka ohřevu jednotlivých kusů.

Protože však byla zkouška vždy prováděna v rámci sériové výroby, bylo potřeba zároveň zajistit, aby nedošlo k překročení předepsaných limitních hodnot pro ohřev a následné neshodné výrobě. Z vybraných sochorů pak byly v různých částech hotového finálního vývalku odebrány vzorky pro vyhodnocení mechanických vlastností. Vzdálenost místa odběru od čela finálního vývalku byla vždy zaznamenána. Následně byly tyto zkoušky vyhodnoceny a zaznamenány do tabulky.

Poté bylo v rámci stejné výrobní kampaně vybráno dalších 10 sochorů, u nichž proběhnul standardní ohřev (nedošlo ke změně parametrů v průběhu jejich ohřevu), a u těchto sochorů byly měněny parametry nastavení chladicího zařízení tak, aby bylo dosahováno různých dochlazovacích teplot. Rovněž u těchto sochorů pak byly odebrány a vyhodnoceny vzorky dle výše uvedené metodiky a hodnoty zaznamenány do tabulky.

Data z měření B25

Předepsaná dochlazovací teplota: 590 – 620°C

Hmotnost sochoru: 3 100 kg

Délka sochoru: 11,9 m

Metrová hmotnost provalku I. pořadí: 29,05 kg/m

Délka vývalku I. pořadí: 107 m

Metrová hmotnost finálního vývalku: 3,85 kg/m

Délka finálního vývalku: 805 m

Koeficient prodloužení: 64,647

Hmotnost sochoru: 3 100 kg

Rychlost provalku ve 2. stolicí I. pořadí: 0,238 m/s

Délka průchodu 2. stolicí: 50 s

Čas průchodu provalku trati mezi 2. stolicí a hotovní stolicí: 14 s

Preferovaný rozsah Re: 550 – 600 MPa

Tab. 2: První nastavení (N1)

| Sekce 1 | | | | | | | Sekce 2 | | | | | | Sekce 3 | | | | | |
|---------|------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Průtok | Tlak | Y 3.1 | Y 3.1a | Y 3.1b | Y 3.1d | Y 3.1e | Průtok | Tlak | Y 3.2 | Y 3.2a | Y 3.2b | Y 3.2c | Průtok | Tlak | Y 3.3 | Y 3.3a | Y 3.3b | Y 3.3c |
| 890,8 | 2,4 | 100 | 100 | A | 100 | 0 | 0,0 | 2,5 | 100 | 100 | 20 | 0 | 66,8 | 2,5 | 16 | 0 | 8 | 0 |

Pro doplnění teplot v konkrétním místě sochoru ve 2. stolicí vyjdeme z koeficientu prodloužení, tzn. vzorku, který byl odebrán z 80. metru vývalku. Tomu odpovídá vzdálenost 1,24 m na sochoru. Stejně tak při určení konkrétní teploty daného místa sochoru vyjdeme z celkové délky vývalku 800 m a času průchodu sochoru stolicí, tj. 50 sekund. Každých 5 sekund tedy projde stolicí materiál, odpovídající vývalku délky 80 metrů – teplotu tedy odečítáme v intervalech 5 sekund.

Tab. 3: Naměřené hodnoty prvního nastavení

| Místo PLP | T 2. stol. | Místo odběru | Pořadí PLP | Profil | RE Min. | RE Výsledek | RM Výsledek | RM/RE Výsledek | RM/RE Min | T dochl |
|-----------|------------|--------------|------------|--------|---------|-------------|-------------|----------------|-----------|---------|
| 1,24 | 1010 | 80 | 1 | B-25S | 500 | 541 | 628 | 1,16 | 1,08 | 575 |
| 2,47 | 960 | 160 | 1 | B-25S | 500 | 610 | 660 | 1,08 | 1,08 | 625 |
| 3,71 | 1000 | 240 | 1 | B-25S | 500 | 544 | 635 | 1,17 | 1,08 | 580 |
| 4,95 | 1000 | 320 | 1 | B-25S | 500 | 549 | 641 | 1,17 | 1,08 | 580 |
| 6,19 | 960 | 400 | 1 | B-25S | 500 | 612 | 700 | 1,14 | 1,08 | 625 |
| 7,42 | 980 | 480 | 1 | B-25S | 500 | 581 | 653 | 1,12 | 1,08 | 610 |
| 8,66 | 980 | 560 | 1 | B-25S | 500 | 576 | 646 | 1,12 | 1,08 | 605 |
| 9,90 | 950 | 640 | 1 | B-25S | 500 | 613 | 665 | 1,08 | 1,08 | 630 |
| 11,14 | 990 | 720 | 1 | B-25S | 500 | 552 | 646 | 1,17 | 1,08 | 590 |
| 1,24 | 950 | 80 | 4 | B-25S | 500 | 618 | 672 | 1,09 | 1,08 | 635 |
| 2,47 | 970 | 160 | 4 | B-25S | 500 | 593 | 660 | 1,11 | 1,08 | 615 |
| 3,71 | 970 | 240 | 4 | B-25S | 500 | 598 | 664 | 1,11 | 1,08 | 620 |
| 4,95 | 990 | 320 | 4 | B-25S | 500 | 560 | 636 | 1,14 | 1,08 | 595 |
| 6,19 | 1000 | 400 | 4 | B-25S | 500 | 545 | 632 | 1,16 | 1,08 | 575 |
| 7,42 | 960 | 480 | 4 | B-25S | 500 | 615 | 698 | 1,13 | 1,08 | 620 |
| 8,66 | 1000 | 560 | 4 | B-25S | 500 | 551 | 638 | 1,16 | 1,08 | 585 |
| 9,90 | 945 | 640 | 4 | B-25S | 500 | 615 | 684 | 1,11 | 1,08 | 635 |
| 11,14 | 970 | 720 | 4 | B-25S | 500 | 590 | 660 | 1,12 | 1,08 | 610 |
| 1,24 | 1020 | 80 | 6 | B-25S | 500 | 533 | 614 | 1,15 | 1,08 | 575 |
| 2,47 | 1040 | 160 | 6 | B-25S | 500 | 520 | 598 | 1,15 | 1,08 | 560 |
| 3,71 | 1050 | 240 | 6 | B-25S | 500 | 518 | 598 | 1,15 | 1,08 | 550 |
| 4,95 | 1010 | 320 | 6 | B-25S | 500 | 538 | 611 | 1,14 | 1,08 | 565 |
| 6,19 | 1070 | 400 | 6 | B-25S | 500 | 509 | 567 | 1,11 | 1,08 | 540 |
| 7,42 | 1020 | 480 | 6 | B-25S | 500 | 529 | 604 | 1,14 | 1,08 | 570 |
| 8,66 | 1010 | 560 | 6 | B-25S | 500 | 540 | 611 | 1,13 | 1,08 | 570 |
| 9,90 | 1020 | 640 | 6 | B-25S | 500 | 524 | 588 | 1,12 | 1,08 | 560 |
| 11,14 | 1015 | 720 | 6 | B-25S | 500 | 535 | 594 | 1,11 | 1,08 | 575 |
| 1,24 | 1060 | 80 | 10 | B-25S | 500 | 514 | 576 | 1,12 | 1,08 | 545 |
| 2,47 | 1050 | 160 | 10 | B-25S | 500 | 528 | 584 | 1,11 | 1,08 | 555 |
| 3,71 | 1030 | 240 | 10 | B-25S | 500 | 526 | 582 | 1,11 | 1,08 | 550 |
| 4,95 | 1040 | 320 | 10 | B-25S | 500 | 518 | 574 | 1,11 | 1,08 | 555 |
| 6,19 | 1060 | 400 | 10 | B-25S | 500 | 508 | 565 | 1,11 | 1,08 | 540 |
| 7,42 | 1020 | 480 | 10 | B-25S | 500 | 531 | 611 | 1,15 | 1,08 | 560 |
| 8,66 | 1070 | 560 | 10 | B-25S | 500 | 504 | 566 | 1,12 | 1,08 | 540 |
| 9,90 | 1030 | 640 | 10 | B-25S | 500 | 532 | 594 | 1,12 | 1,08 | 565 |
| 11,14 | 1040 | 720 | 10 | B-25S | 500 | 530 | 599 | 1,13 | 1,08 | 560 |

Vyhovující vlastnosti materiálu jsou podkresleny zeleně. Pokud byla hodnota příliš vysoká, je vykreslena modře a nedostačující hodnoty oranžově.

V dalším průběhu kampaně bylo měněno nastavení průtoků v sekci 3, stále však s ohledem na to, aby nebyla ohrožena výsledná jakost výroby. Z tohoto důvodu je regulační rozsah úzký, nicméně dostatečně reprezentativní k tomu, aby bylo možno simulovat řízení průtoků v závislosti na vstupní teplotě sochoru do tratě, resp. její změny v průběhu průchodu sochoru tratí. Níže jsou uvedena nastavení dochlazovacího zařízení Golem a hodnoty, dosažené při ověření mechanických vlastností. Pro vyhodnocování byla použita stejná metodika, jako v předcházejícím případě.

Tab. 4: Druhé nastavení (N2)

| Sekce 1 | | | | | | | Sekce 2 | | | | | | | Sekce 3 | | | | | | |
|---------|------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|------|----------|-----------|-----------|-----------|--------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|--|--|
| Průtok | Tlak | Y 3.1 | Y 3.1a | Y 3.1b | Y 3.1d | Y 3.1e | Průtok | Tlak | Y 3.2 | Y 3.2a | Y 3.2b | Y 3.2c | Průtok | Tlak | Y 3.3 | Y 3.3a | Y 3.3b | Y 3.3c | | |
| 890,8 | 2,4 | 100 | 100 | A | 100 | 0 | 0,0 | 2,5 | 100 | 100 | 20 | 0 | 125,3 | 2,4 | 30 | 0 | 12 | 0 | | |

Tab. 5: Třetí nastavení (N3)

| Sekce 1 | | | | | | | Sekce 2 | | | | | | | Sekce 3 | | | | | | |
|---------|------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|------|----------|-----------|-----------|-----------|--------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|--|--|
| Průtok | Tlak | Y 3.1 | Y 3.1a | Y 3.1b | Y 3.1d | Y 3.1e | Průtok | Tlak | Y 3.2 | Y 3.2a | Y 3.2b | Y 3.2c | Průtok | Tlak | Y 3.3 | Y 3.3a | Y 3.3b | Y 3.3c | | |
| 890,8 | 2,4 | 100 | 100 | A | 100 | 0 | 0,0 | 2,5 | 100 | 100 | 20 | 0 | 250,5 | 2,4 | 60 | 0 | 22 | 0 | | |

Tab. 6: Výsledky druhého a třetího nastavení

| Místo PLP | T 2. stol. | Místo odběru | Pořadí PLP | Profil | RE Min. | RE Výsledek | RM Výsledek | RM/RE Výsledek | RM/RE Min | T dochl |
|--------------|---------------|-----------------|---------------|--------|------------|----------------|----------------|-------------------|--------------|---------|
| 1,24 | 1010 | 80 | 6 | B-25S | 500 | 553 | 628 | 1,14 | 1,08 | 595 |
| 2,47 | 1030 | 160 | 6 | B-25S | 500 | 535 | 604 | 1,13 | 1,08 | 565 |
| 3,71 | 1060 | 240 | 6 | B-25S | 500 | 540 | 612 | 1,13 | 1,08 | 560 |
| 4,95 | 1020 | 320 | 6 | B-25S | 500 | 553 | 635 | 1,15 | 1,08 | 585 |
| 6,19 | 1040 | 400 | 6 | B-25S | 500 | 524 | 598 | 1,14 | 1,08 | 565 |
| 7,42 | 1040 | 480 | 6 | B-25S | 500 | 530 | 604 | 1,14 | 1,08 | 570 |
| 8,66 | 1050 | 560 | 6 | B-25S | 500 | 525 | 593 | 1,13 | 1,08 | 560 |
| 9,90 | 1020 | 640 | 6 | B-25S | 500 | 547 | 608 | 1,11 | 1,08 | 580 |
| 11,14 | 1015 | 720 | 6 | B-25S | 500 | 554 | 628 | 1,13 | 1,08 | 590 |
| Místo PLP | T 2. stol. | Místo odběru | Pořadí PLP | Profil | RE Min. | RE Výsledek | RM Výsledek | RM/RE Výsledek | RM/RE Min | T dochl |
| 1,24 | 1020 | 80 | 6 | B-25S | 500 | 599 | 668 | 1,12 | 1,08 | 610 |
| 2,47 | 1030 | 160 | 6 | B-25S | 500 | 586 | 651 | 1,11 | 1,08 | 595 |
| 3,71 | 1060 | 240 | 6 | B-25S | 500 | 562 | 632 | 1,12 | 1,08 | 575 |
| 4,95 | 1040 | 320 | 6 | B-25S | 500 | 578 | 641 | 1,11 | 1,08 | 590 |
| 6,19 | 1050 | 400 | 6 | B-25S | 500 | 566 | 638 | 1,13 | 1,08 | 580 |
| 7,42 | 1060 | 480 | 6 | B-25S | 500 | 558 | 635 | 1,14 | 1,08 | 575 |
| 8,66 | 1020 | 560 | 6 | B-25S | 500 | 601 | 672 | 1,12 | 1,08 | 610 |
| 9,90 | 1030 | 640 | 6 | B-25S | 500 | 581 | 670 | 1,15 | 1,08 | 600 |
| 11,14 | 1010 | 720 | 6 | B-25S | 500 | 613 | 684 | 1,12 | 1,08 | 620 |

Dle uvedených tabulek lze rozdělit jednotlivá nastavení chladicího zařízení v závislosti na teplotě sochoru ve 2. stolici do následujících intervalů:

Tab. 7: *Vhodná nastavení pro jednotlivé teploty*

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Teplota: | 940 | 950 | 960 | 970 | 980 | 990 | 1000 | 1010 | 1020 | 1030 | 1040 | 1050 | 1060 | 1070 |
| Nastavení: | N0 | N0 | N0 | N1 | N1 | N1 | N1 | N2 | N2 | N3 | N3 | N3 | N3 | N3 |
| | | | | | | | | | | | | | | N? |

Řešení je navrženo pro jeden konkrétní profil. Jak již bylo uvedeno dříve, je připravována výměna současného chladicího zařízení za nové, které bude mít jiné charakteristiky. Proto nemá v současnosti smysl provádět komplikovaná a časově náročná měření na stávajícím zařízení, toto měření má pouze představit princip na základě jakých dat je možno řídit průtoky chladicího média v zařízení. U profilu B25 postačí k řízení pouze změna průtoků ve 3. sekci Golemu, zcela analogicky by však bylo možno řídit na základě vyhodnocení dat i průtoky jinými sekcemi tohoto zařízení.

7 Závěr

Zanalyzoval jsem systém pro chlazení betonářské oceli na Středojemné válcovně v Liberty Ostrava a.s. Poté jsem navrhl řízení tohoto systému podle dostupných možností a požadavků společnosti. Protože je možné systém testovat až po rekonstrukci, byl test proveden pouze v demonstračním režimu.

K monitorování stavu systému chlazení je využito PLC, s jehož výměnou se v budoucnu počítá, a jako vstupy jsou používány analogové signály z příslušných senzorů, proto jsem pro demonstrátor využil PLC Simatic S7-1500 a pyrometr s totožnými vlastnostmi, jako je pyrometr používaný na trati. Ventily, které je nutno řídit, jsou ovládány pouze ručně, ale s plánovanou rekonstrukcí budou dodány nové, proto jsem z katalogu vybral ventil s řízením přes analogový výstup 4-20 mA.

Nově navržený systém tedy přečte údaj o teplotě, podle ní určí polohy ventilů z tabulky, která bude celá sestavena pro všechny průměry až po rekonstrukci chladicího zařízení. Podle požadované polohy pak řídícím signálem změni polohu ventilu, ale až po 14 vteřinách. Tento čas odpovídá průchodu analyzované tyče pro testování chodu demonstrátoru.

Vizualizaci jsem také navrhl pro demonstrátor, již však s implementací všech měřených veličin celého zařízení. Zatím jsou tedy ve vizualizačních obrazovkách zobrazovány hodnoty, které jsou pro testování v demonstračním režimu nezbytné.

Celý program v demonstračním režimu fungoval správně. Nicméně je jisté, že bude nutné jej upravit pro budoucí nasazení do provozu, to se týká především čtení veličin z ostatních senzorů, ale protože je toto už v současnosti implementováno, nebude problém s doplněním těchto částí do programu. K testování programu v provozu dojde až po rekonstrukci chladicího zařízení, kdy bude nutné všechny systémy optimalizovat a při tom bude možná i optimalizace navrženého systému řízení.

Seznam použité literatury

- [1] Interní zdroje Liberty Ostrava a. s.
- [2] Pyrometr. *WikiSkripta* [online]. [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://www.wikiskripta.eu/w/Pyrometr>
- [3] SOVA, Jan a Karel KADLEC. Termokamery apyrometry – princip měření, vlastnosti avyužití. *AllForPower* [online]. 2014 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: http://www.allforpower.cz/UserFiles/file/termokamery_1.pdf
- [4] ŠMEJKAL, Ladislav a Marie MARTINÁSKOVÁ. *PLC a automatizace*. Praha: BEN - technická literatura, 1999. ISBN 978-80-86056-58-6.
- [5] ŠMEJKAL, Ladislav. *PLC a automatizace*. 2. díl, Sekvenční logické systémy a základy fuzzy logiky. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-087-3.
- [6] Siemens Electric PLC S7-1500, 250 V DC. *Indiamart* [online]. [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/siemens-plc-s7-1500-12372622512.html>
- [7] PETRUZELLA, Frank. *Programmable Logic Controllers*. 5th edition. New York: McGraw-Hill, 2017. ISBN 978-0-07-337384-3.
- [8] Programovací jazyky. *ELUC* [online]. [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/976>
- [9] Názvy programovacích jazyků PLC podle normy IEC 61131-3. *Učebna mechatroniky* [online]. [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: http://ucebnaaut.wz.cz/wp-content/uploads/2018/03/plc_sw_jazyky_IEC_61131_verse_b.pdf
- [10] What are Instruction Lists (ILs) for PLC programming? *Motion Control Tips* [online]. [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://www.motioncontroltips.com/instruction-lists-ils-plc-programming/>
- [11] KOZIOREK, Jiří, Antonín KUČERA, Jiří HAŠKA a Jan ŠMÍD. *Programovatelné automaty a vizualizace řídicích systémů: učební text a návody do cvičení*. Ostrava, 2012.

- [12] Instruction list programming tutorial | Basic Ladder logic program converted to instruction list program, used in Micrologix. *Automation Forum* [online]. [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://automationforum.in/t/instruction-list-programming-tutorial-basic-ladder-logic-program-converted-to-instruction-list-program-used-in-micrologix/2666>
- [13] Komunikace: DDE protokol [online]. [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~rep75/Predmety/Distrib_sys/Vytah/05.htm
- [14] Co je OPC? OPC server? OPC klient? *Foxon: Praktická teorie* [online]. [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://foxon.cz/blog/prakticka-teorie/159-co-je-opc-opc-server-opc-klient>
- [15] *Monitorovací a vizualizační systém ProCop 2. ALFA Mikrosystémy* [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: http://www.alfamik.cz/?p_procop2.htm
- [16] Dias: Infrared Systems. *PYROSPOT série 40 – univerzální, kompaktní a robustní* [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://pyrometr.cz/pyrometry/pyrospot-serie-40/>
- [17] SIEMENS. *SIMATIC S7-1500/ET 200MP Analog output module AQ 4xU/I ST (6ES7532-5HD00-0AB0) Manual* [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/850/59191850/att_903132/v1/s71500_aq_4xu_i_st_manual_en-US_en-US.pdf